

29
25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DEL LABORATORIO DE EMISIONES VEHICULARES DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA - UNAM

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN COMPUTACION
P R E S E N T A :
ANTONIO HERNANDEZ NOLASCO

DIRECTOR DE TESIS:
DR. ALEJANDRO F. ROMERO LOPEZ



MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE.

INTRODUCCION

- 1.- LA CONTAMINACION ATMOSFERICA, ESTADO ACTUAL.
- 2.- LA MAQUINA DE COMBUSTION INTERNA, INTRINSECAMENTE CONTAMINANTE.
- 3.- DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES; PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y FORMAS DE EVALUACION.
- 4.- LA EVALUACION DE EMISIONES VEHICULARES.
- 5.- PROYECTO DE UN LABORATORIO DE EMISIONES D.E.P.F.I..UNAM.
EQUIPO A UTILIZAR
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE ANALIZADORES Y
MEDIDORES DE FLUJO VOLUMETRICO.
AYUDA DE MANEJO
DINAMOMETRO DE CHASIS

OBRA CIVIL.

- INSTALACION ELECTRICA.
- INSTALACION HIDRAULICA.
- EQUIPO DE COMPUTO.

- 6.- CONCLUSIONES.

INTRODUCCION

Hasta hace unas décadas la creciente actividad industrial del hombre no había afectado grandemente su entorno. Se creía que los océanos y la atmósfera eran basureros de capacidad infinita que podían regenerar todos los desechos que en ellos se vertían. Sin embargo la calidad del ambiente ha empeorado rápidamente en los últimos años, ya que los ecosistemas no han podido regenerar la enorme cantidad de contaminantes a que han sido expuestos. Causa de ello fué y sigue siendo la liberalidad con que se arrojan desechos al entorno y además el desconocimiento de los efectos que tienen muchas sustancias sobre el delicado equilibrio ecológico.

Actualmente la contaminación de suelos, aguas y atmósfera se ha convertido en un problema de actualidad ya que la calidad de vida de los humanos se ha visto afectada seriamente. Un ejemplo palpable de ello se tiene en la Ciudad de México: la calidad del aire que respiramos es realmente mala. Casi todos los días los periódicos reportan que se han rebasado los límites permisibles de contaminación ambiental.

Cada día se arrojan a la atmósfera de la Ciudad de México:

1450	Ton.	de hidrocarburos.
10200	Ton.	de monóxido de carbono.
360	Ton.	de Oxidos Nitrosos
21	Ton.	de bióxido de Azufre.
72	Ton.	de metales pesados. (1)

Estas gigantescas cantidades de contaminante ya no se diluyen en la atmósfera tan fácilmente como antes. Se ha rebasado ya la frontera del máximo de sustancias extrañas que puede asimilar la naturaleza y ahora debe pagarse por ello entre otras cosas con un aire irrespirable.

Causantes de la contaminación del aire hay muchos, entre los

cuales se pueden citar industrias del cemento, centrales termoelectricas, lavanderias, automoviles y camiones.

Es de enfatizarse el hecho de que en el area metropolitana del D.F. los vehiculos automotores son responsables del 80% de la contaminacion, segun datos de SEDUE.

Los motores de combustion interna son intrinsecamente contaminantes, por lo menos en el estado actual del arte. La genesis de esta contaminacion asi como medidas para disminuir su magnitud se analizaran en algunos capitulos de la tesis.

Por ahora basta decir en esta introduccion que a la fecha no hay desarrollos de dispositivos anticontaminantes, de motores, ni de instrumental para conocer y cuantificar los procesos de formacion de contaminantes para las condiciones especificas de altitud, tipo de gasolina y habitos de manejo de Mexico. Se sabe que hay contaminacion pero no se conoce con exactitud el estado del parque vehicular mexicano. Faltando este conocimiento no se pueden tomar medidas para disminuir la emision de gases de escape con todo el conocimiento de causa que se quisiera. Se sabe de muchos dispositivos anticontaminantes desarrollados fuera de Mexico, se conoce su funcionamiento teoricamente, pero no se conoce a ciencia cierta su eficacia para las condiciones mexicanas.

En el capitulo 3 se describe el funcionamiento de algunos tipos de dispositivos anticontaminantes que podrian ayudar a reducir emisiones.

Sin embargo no basta una exposicion teorica de medidas que posiblemente puedan reducir la contaminacion. El funcionamiento de los motores a gasolina modernos es tan complejo que resulta aventurado tratar de predecir lo que causara cualquier modificacion que se le haga. Se pueden prever tendencias en el comportamiento de un motor, pero no se puede asegurar la magnitud del efecto.

En este caso se vuelve imprescindible recurrir a pruebas que permitan evaluar (cuantificar) la bondad de cualquier accion tomada en un motor. Dichas pruebas deben efectuarse en condiciones similares a las que trabaja normalmente un

automóvil. En los muchos años de la industria automotriz se han desarrollado métodos cada vez más exactos pero más complejos para conocer los verdaderos niveles de emisión de vehículos automotores. Dinamómetros de motor que permiten "mapear" con gran precisión las máquinas a prueba, analizadores cada vez más precisos y de respuesta más rápida, dinamómetros de chasis que permiten simular en un automóvil cualquier carga de camino son parte de las herramientas de que dispone el investigador o el diseñador en ingeniería automotriz. Estas mismas herramientas se deben emplear en la lucha contra los altos niveles actuales de contaminación.

Y son precisamente estas herramientas el tema central de esta tesis. Se pretende exponer lo que se debe hacer para tener una infraestructura básica que permita una investigación coherente y lógica que busque no solamente una reducción de la emisión de contaminantes, sino mayor economía de combustible, mayor eficiencia en el ciclo termodinámico Otto y Diesel, mayor confort de manejo.

A lo largo de la tesis se desea exponer un proyecto para un laboratorio de emisiones que se deberá instalar en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Con este proyecto se intentan alcanzar varios objetivos:

Dar a conocer como es un laboratorio de emisiones.

Mostrar que clase de investigaciones y desarrollos se pueden realizar en un laboratorio de esta naturaleza.

Impulsar la investigación original en la UNAM en ramas tan importantes como la automotriz.

Desarrollar dispositivos anticontaminantes efectivos a ciencia cierta.

Sentar precedente para que otros compañeros continúen y superen el trabajo desarrollado en esta área de la Ingeniería.

Mostrar que como estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM somos dignos participantes de la comunidad académica de la misma y podemos aportar soluciones de beneficio institucional e incluso nacional.

En las siguientes páginas se desarrollan varios temas relacionados con el proyecto de un laboratorio de emisiones, para la DEPFI -UNAM.

1.- Bravo.H et al (1987) "La contaminación del aire en México" Universo Veintiuno, México.

CAPÍTULO 1. LA CONTAMINACION ATMOSFERICA, ESTADO ACTUAL.

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y es el resultado de las actividades que conducen al desarrollo de un país.

Aún cuando existen fuentes naturales de contaminación atmosférica como las erupciones volcánicas, las tolveneras y los incendios forestales, son las fuentes antropógenas las que ocupan la atención en este estudio.

Estas últimas se clasifican a su vez en fuentes fijas -la actividad industrial- y fuentes móviles los vehículos automotores. La combustión empleada para obtener calor, generar energía eléctrica ó movimiento, es el proceso de emisión de contaminantes más significativo.

Las emisiones anuales de contaminantes en la zona metropolitana son superiores a 4 millones de toneladas de las cuales 81% son de origen vehicular y el 19% provienen de fuentes industriales.

Su composición tóxica es la siguiente: (0)

CONTAMINANTES	FUENTES FIJAS		FUENTES MOVILES		TOTAL %	
	TON/AÑO	%	TON/AÑO	%	TON/AÑO	%
Monóxido de Carbono	141,000	16	12,800	0.3	153,800	3.0
Hidrocarburos	120,000	13	3600,000	89.0	3720,000	75.0
Oxidos de nitrógeno	93,000	10	39,000	0.9	132,000	3.0
Partículas	141,000	16	12,800	0.3	153,800	3.0
Dióxido de azufre	400,600	45	11,000	0.3	411,000	8.0
	894,000	19	4047,800	81.0	4492,000	100.0

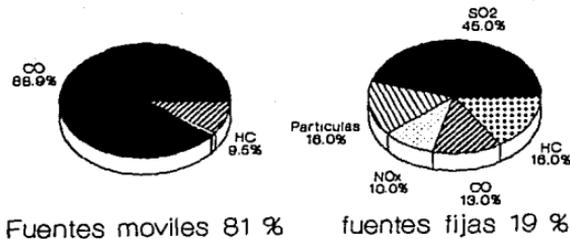


Figura 1.1

Fuentes de contaminación

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTAMINANTES.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO) . (1)

Es incoloro, inodoro, insaboro y tóxico, existe en bajas concentraciones en el aire, procede de dos fuentes:

Las naturales como es la oxidación del metano que en su mayoría se transforma en dióxido de carbono y agua, llega a producirse una concentración cerca de 1 p.p.m pero esto es insignificante comparado con las fuentes artificiales.

Las artificiales como son la oxidación de combustibles de fuentes móviles o fijas y los incendios en basureros .

Su toxicidad en la gente se debe a su afinidad con la hemoglobina, reduciendo la cantidad de oxígeno transportada por los glóbulos rojos a las células.

Los estándares primarios que son la cantidad máxima de gases a la que puede ser expuesto el hombre son:

1 hora	8 horas
35 p.p.m	9 p.p.m

DIÓXIDO DE CARBONO. (CO₂) (2)

Es un gas incoloro, inodoro, insaboro e inerte usado en extinguidores de fuego, su estado sólido es el hielo seco.

Resulta de la combustión completa, de la respiración y de la fotosíntesis en plantas .

Durante este siglo la proporción ha crecido de 290 p.p.m a 330 p.p.m (1980). Es el principal productor del efecto invernadero a altas concentraciones.

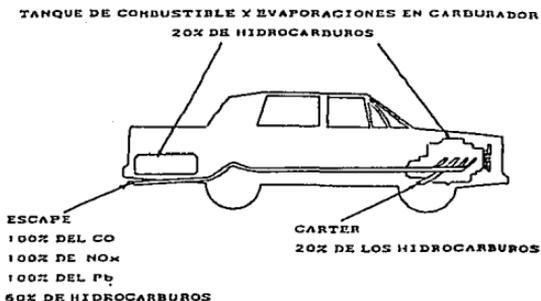
HIDROCARBUROS (HC) (3)

Familia de compuestos químicos cuyas moléculas consisten de carbono e hidrógeno, en esta familia se encuentra el petróleo y el gas natural. Existen una serie de subfamilias de los hidrocarburos como son los aromáticos y los alifáticos.

La volatilidad de cualquier partícula de hidrocarburo está estrechamente relacionada con el número de átomos de carbono en cada una de las moléculas. Entre mayor sea el número de átomos, mayor es su punto de ebullición.

Las moléculas de la gasolina generalmente tienen de 5 a 10 átomos de carbono.

El total de toneladas de hidrocarburos vertidos anualmente a la atmósfera por vehículos, plantas industriales e incendios representa del 10-15% del tonelaje de contaminación del aire.



Distribución aproximada de las emisiones de los automóviles por punto de emisión.
(adaptada de Air Pollution, G.C. Prehler, Mc Graw-Hill, Toronto, 1975).

Figura 1.2 Distribución de las emisiones del automóvil

ÓXIDOS DE NITRÓGENO. (NO_x) (4)

De las muchas clases de óxido de nitrógeno conocidas, solo dos están comunmente involucradas en la contaminación del aire, y son el ÓXIDO NÍTRICO (NO) y el DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂).

Cualquier proceso en el que el aire, cuya mezcla es de 79% nitrógeno y 21% oxígeno, se calienta arriba de los 1100 °C producirá óxido nítrico.

El óxido nítrico es un gas incoloro y por sí solo no se cree que sea una amenaza para la salud del hombre, lo es indirectamente en algunos cambios del aire particularmente cuando la luz solar y otra partículas se encuentran presentes, es tóxico a muy altas concentraciones .

El dióxido de nitrógeno es de olor desagradable, de color pardo rojizo, se produce de la combustión incompleta y es el principal componente del smog fotoquímico que contribuye a la formación de ozono y P.A.N. Causa irritación en los ojos, irritación pulmonar, inhibe el crecimiento de plantas, causa la caída prematura de hojas y deteriora la pintura.

Estandar Primario 0.05 p.p.m en 24 horas, se detecta
a partir de 0.1 p.p.m

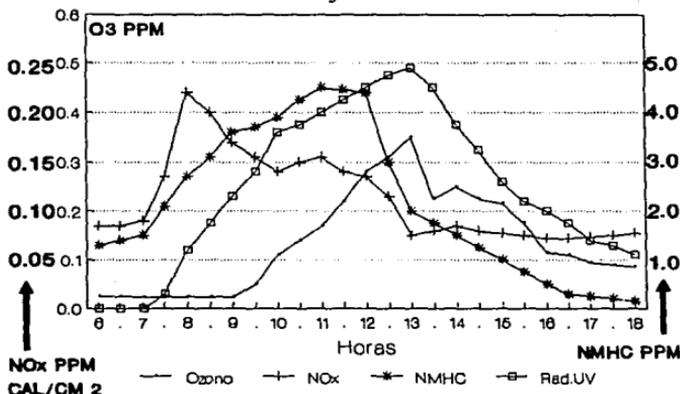


Figura 1.3

Concentraciones Horarias

P.A.N (Peroxi-acetil-nitrilo) (5)

Proviene del smog fotoquímico, de las reacciones de oxígeno, nitrógeno, ozono e hidrocarburos . Es de los más temidos y en México no se detecta, a altas concentraciones provoca irritación en los ojos, y puede provocar la muerte. Es Fitotóxico.

OZONO (O₃) (6)

El agua se oxida con el dióxido de nitrógeno para producir ozono, a su vez durante las tormentas eléctricas también se produce ozono por el paso de la electricidad a través del aire. A bajas concentraciones favorece la irrigación sanguínea, a altas es irritante.

Se detecta a 0.02 p.p.m, es de color azul, poco denso.

En la estratósfera, o sea a unos 25 km de altura se encuentra

una densa capa de ozono que sirve como filtro de las radiaciones ultravioletas del sol.

Compuestos que con mucha facilidad se unen con el ozono son los óxidos de nitrógeno provocando la desintegración del ozono en oxígeno causando así la reducción de la capa de ozono.

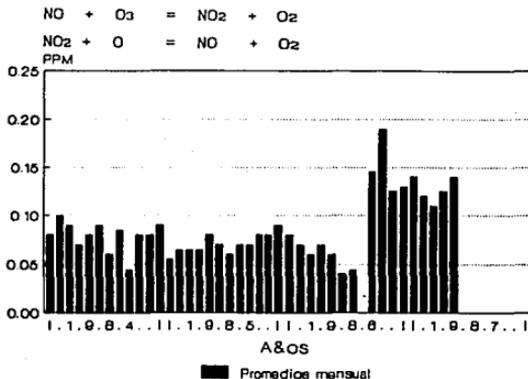


Figura 1.4a

Ozono

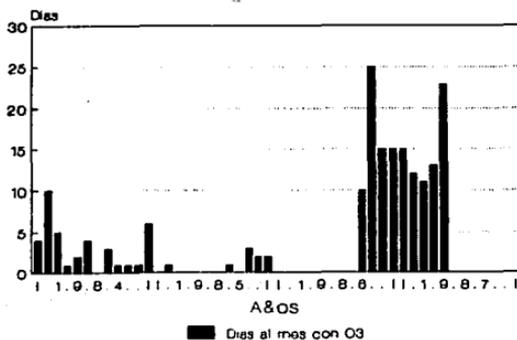


Figura 1.4.b

Ozono

asbestosis. Agravan enfermedades como el asma .
micro g/M3

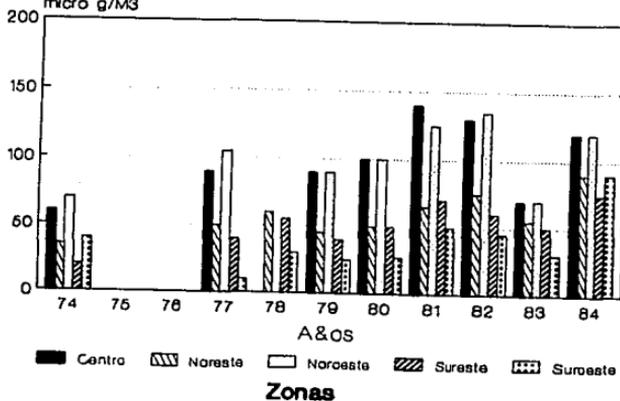


Figura 1.5

Dioxido de azufre

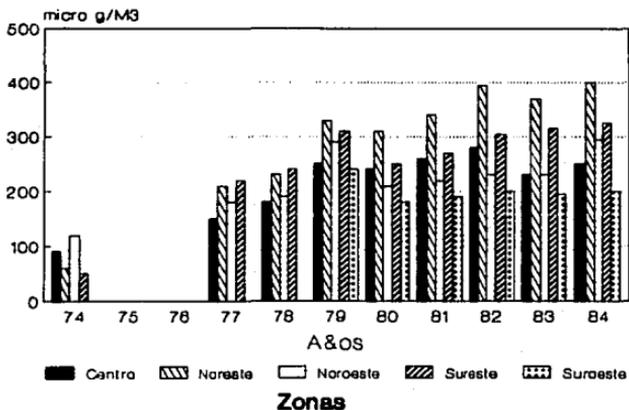


Figura 1.6

**Particulas
suspendidas**

PLOMO (Pb) (8)

Es 11 veces más pesado que el agua, es muy resistente a la corrosión, se utiliza mucho en pinturas y como antidetonante en la gasolina, y a su vez como lubricante para algunas piezas de los motores de combustión interna.

Se acumula en los órganos del cuerpo, causando anemia, lesiones en los riñones y el sistema nervioso central.

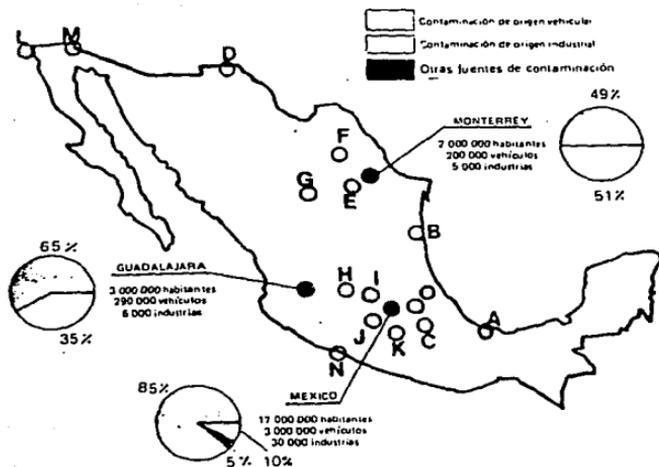


Figura 1.7 - Ciudades más contaminadas del país

CONTAMINACIÓN Y ECONOMÍA. (9)

Es difícil encontrar en esta época un problema de mayor actualidad que el de la conservación del ambiente, lo anteriormente planteado es una muestra de dicho problema sin embargo el problema ecológico no es el único al que afecta la contaminación ya que de alguna manera la economía también se ve

afectada por la contaminación.

La determinación de la efectividad absoluta de las medidas de conservación ambiental, la implantación de una nueva técnica y la determinación del orden de las inversiones por la conservación del medio en los diferentes sectores de la economía nacional, crea la necesidad de incluir en los cálculos económicos los índices del daño o efecto negativo que ocasiona la actividad económica de la sociedad en general. En muchos países (EEUU, URSS, Francia ó Japón) se han ampliado las investigaciones para evaluar los daños ocasionados por la contaminación del ambiente.

El daño puede expresarse en índices de costo ó bien por unidades condicionales (lógicas). Se distinguen sobre todo los daños económicos, sociales y ecológicos. En mayor grado se somete a cálculo el "daño económico", el cual se puede determinar como un gasto inútil de los bienes materiales ya creados, o bien, por la obtención incompleta de los mismos aun considerando los gastos más racionalizados. También se consideran los gastos para liquidar las consecuencias de la contaminación del medio causadas por la actividad económica (ver cuadro 1).

Los daños económicos son bastante variados; además de los mencionados en el cuadro, existen otros más particulares, por ejemplo: pérdidas en el transporte debido a la disminución de la visibilidad en el tránsito; costos suplementarios en la pintura de edificios y empresas, indispensable por la rápida corrosión; gastos de combustible por encima de lo normal; costo de las sustancias necesarias para el lavado; gastos suplementarios en la limpieza del territorio; perecimiento de árboles y arbustos, etc. Todos estos daños son originados por la contaminación del aire.

Por último, cabe hacer notar que el "daño económico" solo refleja el estado del ambiente pero no sus consecuencias para la economía nacional, caracterizando la desviación del estado normativo de los ecosistemas.

Una relación cuidadosa y racional con la naturaleza exige

la elaboración de los índices económicos ligados con la ecología y el estudio a fondo de las tareas económicas de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales. Además de los fundamentos de los índices económicos, también son necesarios conceptos metódicos correctos para resolver las tareas económico-ecológicas así como métodos para calcular los efectos económicos y sociales obtenidos por un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del medio.

Todo esto es necesario para conocer el daño que ocasiona a la economía nacional debido al deterioro de las condiciones naturales, así como para adoptar medidas tendientes a conservar el ambiente y para controlar los resultados de su aplicación. Este complejo cuadro de información debe culminar finalmente con un plan de actividades ecológicas.

CUADRO 1

DAÑOS

Calculables cuantitativamente (monetarios o naturales)

Económicos

- a).- Pérdidas debido a las bajas de producción industrial y agrícola.
- b).- Pérdidas de materias primas, combustible y otros materiales arrojados en los desechos.
- c).- Gastos en la restauración y mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas.
- d).- Pérdidas debido a la disminución de la productividad de los sistemas biológicos.
- e).- Gastos para liquidar las consecuencias negativas de la contaminación.
- f).- Gastos de amortización debido al acortamiento de la vida útil de edificios y otras construcciones.

- g).- Pérdidas originadas por la disminución de la productividad del trabajo debido al aumento de las enfermedades.

Prácticamente no es posible calcularlos cuantitativamente (cualitativos)

Socio-económicos

- a).- Gastos en conservación de los recursos recreativos.
- b).- Gastos en salud pública y asistencia social debido al aumento de las enfermedades.
- c).- Gastos suplementarios para el descanso de la población.
- d).- Pérdidas debido a la emigración originada por el deterioro de la calidad del ambiente.

Sociales

- a).- Aumento de la mortalidad y de cambios patológicos en los organismos humanos.
- b).- Daño estético por la degradación del paisaje.
- c).- Daño psicológico debido a la insatisfacción de la población (por la mala calidad del medio).

Ecología

- a).- Destrucción irreparable de ecosistemas únicos, extinción de especies, daños genéticos, etcetera.
-

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- 0.-Anónimo "El D.F. la región más contaminada del país."
SEDUE. México D.F:
(1985)
- 1.-Anónimo "Air Quality Criteria"
National Air pollution Control Publication, N.Y. U.S.A.
(1970)
- 2.-H.S. Johnston. "Air Pollution."
H.S. Johnston. U.S.A
(1975)
- 3.-Anónimo "Enviroment Quality."
Report of the Council on Enviroment Quality, N.Y. U.S.A.
(1973)
- 4.-Anónimo "Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides."
Air Pollution Control Office, Chicago, U.S.A.
(1971)
- 5.-Anónimo "Effects of Air Pollutants on Vegetation"
Air Pollution Vol.1 Academy Press, New York. (1969)
- 6.-T. Alexander "What we know and don't know about the Ozone"
Fortune
(1975)
- 7.-Anónimo "Environmental Quality "
Anual report Washington D.C. U.S.A.
(1976)
- 8.-Anónimo "Air Quality and Stationary Source Emission Control"
Committee on Public Work U.S Washington D.C.
(1975)

9.-Fierro Martínez Santiago "La economía y el ambiente"
Revista Ciencia y Desarrollo México D.F.
(1983)

CAPITULO 2. DINAMICA Y GENESIS DE LA CONTAMINACION.

La atmósfera del Valle de México, en particular la del Distrito Federal, presenta niveles cada vez más altos de contaminación y como ejemplo de esta afirmación pueden tomarse los contaminantes más usuales en la atmósfera como es el dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbón (NO) entre otros.

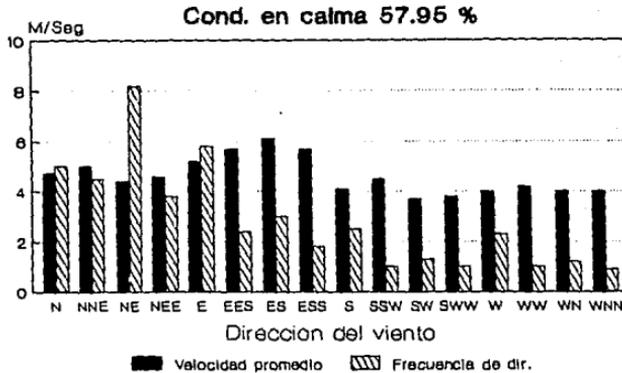
La mayoría de los millones de habitantes del Valle de México sienten diariamente, y en forma muy directa los efectos que los múltiples contaminantes atmosféricos producen en sus ojos y sus vías respiratorias.

El Valle de México debido a sus características geográficas se considera como un cuarto cerrado, rodeado de montañas, con un techo invisible (la llamada capa de inversión) que forma una tapadera impenetrable a los gases contaminantes. Este techo impenetrable llega a descender hasta sólo 100 metros de altura y durante siete meses del año no sopla un viento fuerte que limpie la atmósfera. Para poder entender la dinámica de la contaminación se explicarán algunos factores importantes para el desarrollo de esta.

VIENTO DOMINANTE

Es cuando sopla el viento con una velocidad alta, mayor de 1.5 metros/seg. (5.4 Km/hora) y en una dirección fija. En las figuras 1 y 2 se ilustran las velocidades promedio y las direcciones desde las cuales sopla el viento registradas en el aeropuerto de la ciudad de México. La figura 2.1 indica que el viento sopla preferentemente, un 8.5 % del tiempo, desde el noroeste, y con una velocidad promedio de 4.5 m/seg.

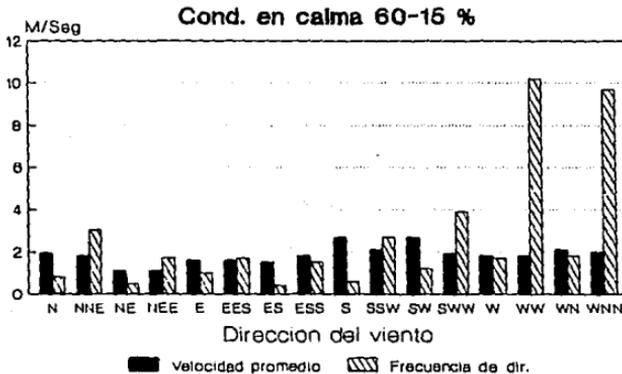
Según datos del observatorio de Tacubaya, la figura 2.2 indica que el viento sopla preferentemente desde el noroeste, 10 % del tiempo, con una velocidad promedio de 1.6 m/seg.



La frecuencia dada en %

Figura 2.1

Campos de vientos Dominantes aeropuerto



La frecuencia dada en %

Figura 2.2

Campos de vientos Dominantes Tacubaya

VIENTO EN CALMA

En las figuras 2.1 y 2.2, se indica el porcentaje de tiempo en que el viento tiene una velocidad menor de 1.5 m/seg. A esta condición meteorológica se llama de "viento en calma", pues el viento sopla muy débilmente, lo que desafortunadamente ocurre el 57.9 % del tiempo en el aeropuerto y un 60.1 % en el observatorio.

Esta información indica que durante 60 % del año (7 meses) la atmósfera de la ciudad de México esta estancada; no existe un viento que la limpie.

ISLA DE CALOR URBANA

A causa del gran número de construcciones urbanas y areas asfaltadas que existen en el centro de la ciudad de México, cuando el sol calienta el terreno, el suelo adquiere una temperatura más alta que la de los campos y bosques que rodean la ciudad.

Durante la noche, las construcciones urbanas y el asfalto, retienen el calor que recibieron en el día, en tanto que los bosques y campos que rodean la ciudad se enfrían más rápidamente como se observa en la figura 2.3.

Este fenomeno llamado "isla de calor urbana" se observa que hay diferencias de hasta 10 °C entre el centro de la ciudad y el campo que lo rodea.

Durante la condición de viento en calma, el aire cercano al suelo se calienta (o enfría) por el terreno y debido a las diferencias de temperatura, el aire se pone en movimiento ya que el aire caliente es más ligero que el aire frío. Figura 2.4

Este flujo de aire, inducido por el fenómeno de la isla de calor producirá que los gases contaminantes que se inyecten en la atmósfera sean concentrados hacia el centro de la ciudad, en vez de dispersarse fuera de la ciudad de México.

En las zonas donde el aire es más caliente se podrá esperar que al ascender, actuara como una gigantesca chimenea

elevando los gases contaminantes y limpiando la atmósfera de la ciudad. Desafortunadamente, la capa de inversión no permitirá que esto suceda.

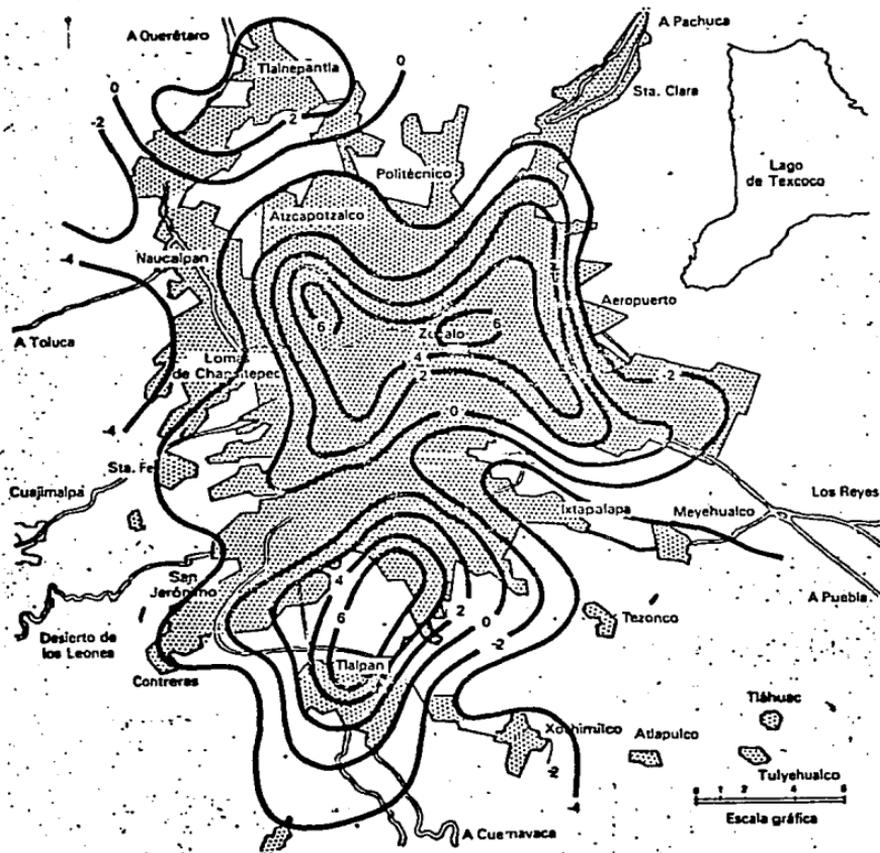
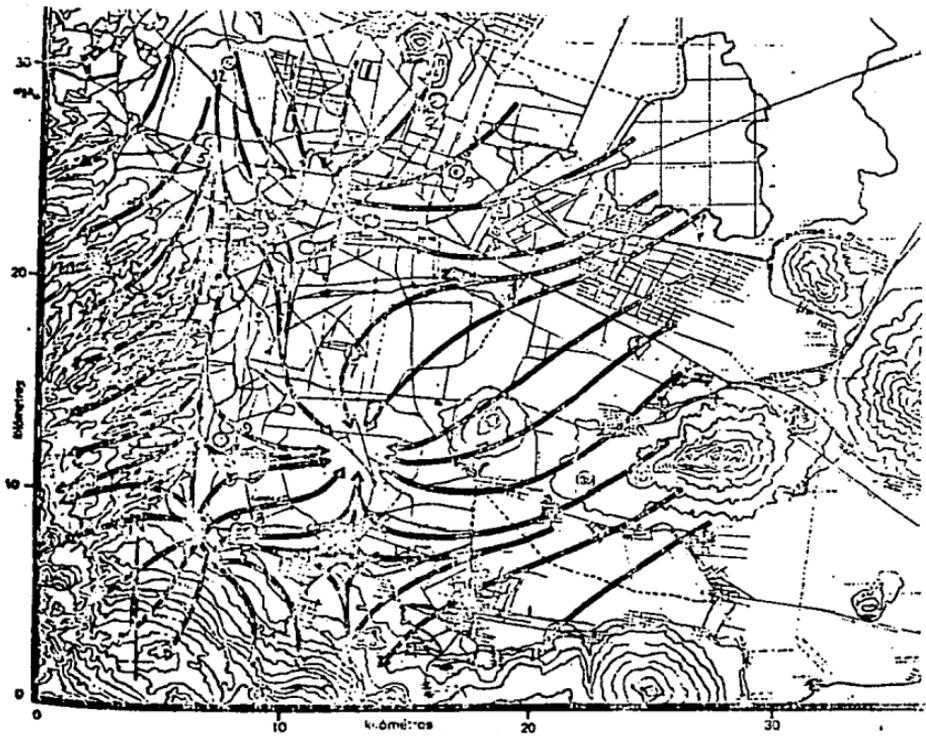


Figura 2.3

Isla de calor urbana

**Figura 2.4****Flujo de aire en la ciudad de Mexico**

CAPA DE INVERSIÓN

Al ir ascendiendo, los gases contaminantes se enfrían, y si llegaran a encontrar capas de aire más calientes que ellos mismos, su ascenso se verá frenado, de acuerdo con las leyes físicas de los gases; una masa de gas a mayor densidad que el aire que la rodea, simplemente no puede subir más.

En la ciudad de México la capa de inversión ocurre durante la mayor parte del año, siendo su efecto mucho más fuerte durante los meses de invierno.

La formación de la capa de inversión ocurre cuando al atardecer el terreno se empieza a enfriar. Debido a que la ciudad de México se encuentra a 2,200 m sobre el nivel del mar, la densidad del aire es más baja y el terreno puede radiar calor con facilidad descendiendo su temperatura más rápidamente que las capas de aire que están a cierta altura sobre el terreno. De esta forma se crea una capa de aire frío cerca del suelo y una capa de aire caliente a una altura mayor. Durante la noche este proceso continúa, llegando a formarse varias capas intercaladas de aire frío y aire caliente.

Al amanecer, la capa de inversión entra en una dinámica de cambios muy importantes. Estos cambios se han estudiado en el IIMAS-UNAM mediante un radio-termómetro que se puede elevar hasta 1,000 metros sobre el terreno mediante un globo. Fig. 2.5

La estructura de la capa de inversión es diferente para varias horas de la mañana de donde se observa lo siguiente:

A las 5:00 a.m. hay tres capas de aire de 0-50m, de 100-140 m y de 200-225m, en las que el aire es más caliente conforme aumenta la altura. Estas tres capas de inversión no permiten que asciendan los gases emitidos a niveles del terreno, el cual está a 8.3 °C.

A las 6:00 a.m. el sol calienta lentamente el terreno, cuya temperatura asciende a 8.8 °C, en tanto que el aire forma una sola capa de inversión que llega a tener 14.5 °C a los 100 metros de altura.

A las 7:00 a.m. el sol sigue calentando lentamente el

terreno, llegando a 9.1 °C, en tanto que el aire forma una sola capa de inversión que llega a tener 16.2 °C a 150 metros de altura.

Esta diferencia de temperatura del aire, entre 0 y 150 metros de altura, forma una barrera prácticamente impenetrable para casi todos los gases contaminantes emitidos a nivel del terreno.

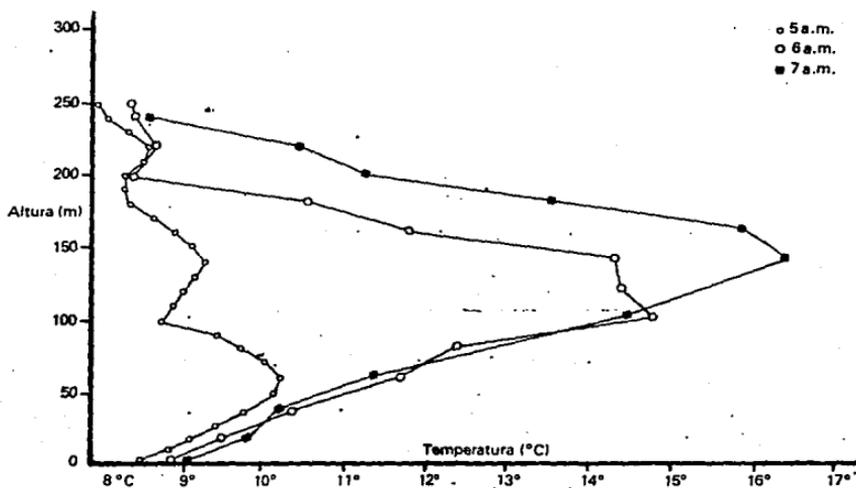


Figura 2.5

Capa de inversión en las primeras horas

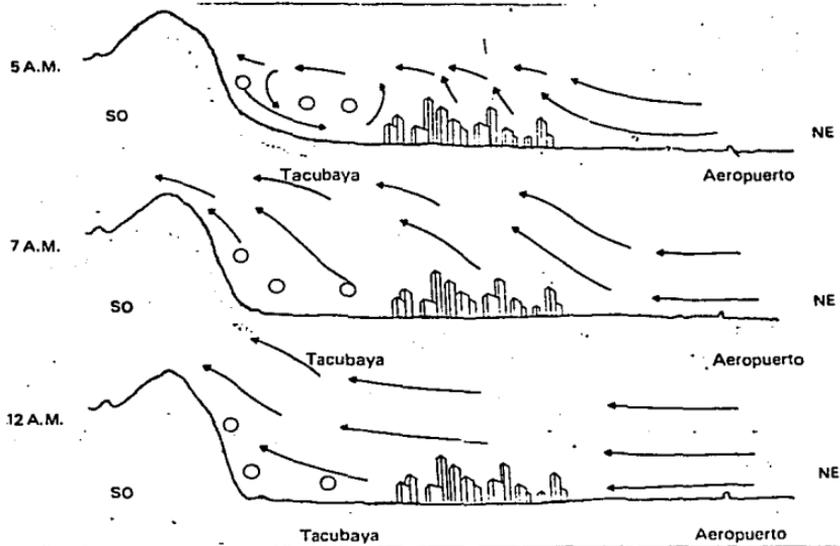
DINAMICA DE LA ATMÓSFERA

Para comprender en forma global como se contamina la atmósfera de la ciudad de México bajo el efecto combinado de la capa de inversión, la isla de calor y las montañas que rodean al valle de México, vease lo siguiente:

Solamente si se produce un fuerte calentamiento del terreno, quizá al mediodía, la altura de la capa de inversión llega a superar la altura de las montañas que rodean al valle de México, pudiéndose limpiar más fácilmente la acumulación de gases que estaban estancados sobre la ciudad (ver figura 2.6).

Es posible sin embargo, que durante varios días no se caliente suficientemente el terreno y la capa de inversión permanezca a muy baja altura, formando un espacio cerrado con las montañas que rodean al valle. Durante estos días los niveles de concentración de gases contaminantes llegarían a niveles aún más altos, pudiendo causar daños irreparables en la salud de los habitantes del valle de México.

Como ya se mencionó anteriormente existen varias fuentes de contaminación atmosférica entre las cuales la fuente principal es el motor de combustión interna de los vehículos automotores ya que existen una gran cantidad de estos vehículos en el valle y estos están mal cuidados, mal afinados y funcionan con una gasolina muy contaminante por el volumen de plomo que contiene; a continuación se explicara brevemente el funcionamiento del motor de combustión interna así como la manera en la cual contamina.


Figura 2.6
Dinámica de la capa de inversión
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

El motor de combustión interna transforma la energía del combustible en potencia y movimiento. Su fuerza puede aplicarse a mover las ruedas de un autobús, la hélice de un avión, el eje de un generador y otras muchas máquinas.

"Combustión interna" quiere decir que el combustible se quema dentro del motor, donde realiza su función. Los de gasolina, los Diesel y las turbinas de gas son motores de esta clase. El de vapor, por el contrario, pertenece a la de combustión externa (el combustible se quema fuera del motor

proplamente dicho, en un lugar independientemente y alejado de las piezas móviles). El calor del combustible al quemarse calienta el agua, cuyo vapor se encarga de que el motor funcione. El combustible del motor de combustión interna produce grandes cantidades de gases que se expanden con rapidez, los cuales empujan directamente los pistones o rotores.

Existen dos tipos principales de motores de combustión interna : el de movimiento alternante, en el que la potencia se transmite por medio de un pistón que se desplaza adelante y atrás, alternativamente, dentro de un cilindro; y el rotativo, en el que la pieza móvil que realiza el trabajo es un rotor giratorio. Los de gasolina y Diesel son alternativos; y las turbinas de gas y los motores Wankel, rotativos.

PRIMERAS ETAPAS

Ya en el siglo XVII los científicos se interesaron por la idea del motor de combustión interna. Pero hasta 1860 no se construyó uno realmente eficaz, invento del ingeniero francés Jean-Joseph Etienne Lenoir (1822-1900). Funcionaba con gas del alumbrado, que se encendía por medio de una chispa eléctrica. Tenía, sin embargo, poca potencia, porque la mezcla del combustible con el aire no se comprimía y, en consecuencia, no ardía con suficiente rapidez. Además, consumía enormes cantidades de gas. A pesar de ello, se vendieron varios centenares de motores para su empleo en fábricas.

El avance siguiente fue el ciclo de cuatro tiempos, en el que la mezcla de combustible se comprimía antes de quemarse. Se debió, en 1862, a otro francés, Alphonse Beau de Rochas (1815-1819), que se limitó a patentar la idea y no construyó siquiera un modelo.

El primero que lo realizó, en 1873, fue el alemán Nikolaus August Otto (1832-1891). el ciclo de cuatro tiempos se bautizó con el nombre de ciclo Otto. Después de él, muchos inventores han introducido mejoras a su invento

El motor de combustión interna comenzó a utilizarse a principios de este siglo. En la actualidad ha sustituido casi por completo al de vapor, pues funciona mejor que este en la mayor parte de los casos: a igualdad de aporte de energía, produce más potencia y, además, ocupa mucho menos espacio.

Constituye en la actualidad uno de los principales auxiliares del hombre. Se utiliza para propulsar medios de transporte de toda clase y para mover sierras mecánicas, compresores de aire, segadoras de césped, etc.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE GASOLINA

La idea básica es bastante simple, aunque el motor tenga muchos componentes.

El combustible se quema en un cilindro, recipiente hueco, cerrado por un extremo, los gases se expanden y ejercen una presión hacia el exterior en todas direcciones. No pueden salir por el extremo cerrado; pero, en el otro lado, hay un pistón móvil que se desliza adelante y atrás dentro del cilindro. La presión de los gases hace que se dirija hacia abajo con gran fuerza. Si no se detuviera, saldría disparado como bala. Pero lo impide el cigueñal, al que va conectado.

Al descender, el pistón hace girar al cigueñal, igual que un ciclista acciona los pedales de una bicicleta. De esta manera, el movimiento rectilíneo del pistón se convierte en rotatorio. El cigueñal, en su giro, le empuja hacia arriba. Un fuerte vástago metálico, llamado biela, une al pistón y el cigueñal.

Los primeros diseñadores toparon con el problema de impedir que los gases se escaparan por las rendijas que quedaban entre el pistón y el cilindro, lo cual desperdiciaba energía. Una manera de evitarlo hubiera sido ajustar con exactitud el pistón al cilindro. Pero, se corre el riesgo de

que al dilatarse este se atascara y en consecuencia no se podría mover.

El problema se resolvió con el uso de segmentos, anillos de metal delgados y elásticos que se alojan en las ranuras que rodean al pistón por fuera y sobresalen ligeramente por los lados. Se ajustan a la pared del cilindro e impiden que se escapen los gases. Al mismo tiempo se consigue que el pistón se mueva libremente dentro del cilindro.

CICLO DE CUATRO TIEMPOS

Los motores de gasolina no producen potencia en todos los movimientos o carrera del pistón. Casi todos se diseñan de manera que sólo la generen en una de cada cuatro. Las otras tres preparan al motor para la siguiente carrera efectiva. A continuación se explicará lo que sucede en el interior de un motor monocilíndrico simple de gasolina, como se ve en la figura 2.7.

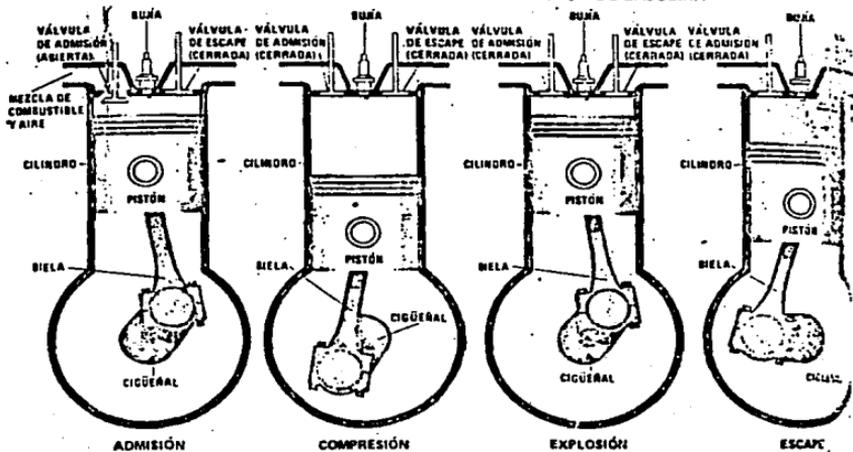


Figura 2.7

Ciclo de dos tiempos de un motor de gasolina

ADMISIÓN. En el primero de los cuatros tiempos del ciclo, el pistón se mueve hacia abajo. Al hacerlo, absorbe una mezcla de combustible y aire a través de un pequeño agujero situado en la parte superior del cilindro. Este orificio llamado lumbrera de admisión, lleva una válvula de admisión, que se abre para que entre la mezcla de aire y combustible y se cierra al final del tiempo.

COMPRESIÓN. El pistón sube desde el PMI hasta el PMS; efectua una carrera descendente durante la cual estan cerradas las válvulas. El volumen de gas disminuye cada vez más y en cambio la presión y temperatura aumentan. Esta compresión proporciona las siguientes ventajas: Vaporización de la gasolina en virtud de la elevación de la temperatura y hacen que la mezcla sea más homogénea y el contacto entre los elementos que constituyen la mezcla explosiva sea más íntimo. Además que esta homogeneidad es favorecida por la forma particular de la cámara de combustión de esta manera la combustión será más completa y liberará la mayor cantidad de calor. Sin embargo la temperatura al final de la compresión deberá ser inferior a la temperatura de inflamación de la mezcla.

El grado en que el pistón la comprime se llama relación de compresión. Consiste en una cifra que resulta de la comparación del volumen admitido con respecto al volumen comprimido.

EXPLOSIÓN. En el instante en que el pistón llega al final de la carrera de la compresión salta una chispa eléctrica entre los electrodos de la bujía que asoma en la cámara de combustión, la mezcla ya comprimida y caliente, se enciende y se quema rápidamente. La presión (aproximadamente 30 atmósferas) así obtenida actúa sobre el pistón y lo empuja desde el PMS hasta el PMI.

En esta carrera descendente el motor realiza trabajo, el descenso del pistón tiene por efecto hacer que disminuya la presión de los gases que no será más que de 2 atmósferas aproximadamente en el PMI.

ESCAPE. En el cuarto y último tiempo, el pistón se eleva de nuevo en el interior del cilindro. Entonces se abre la válvula de escape, situada en la parte alta del cilindro. El movimiento de elevación del pistón expulsa los gases quemados a través de la lumbrera de escape. Cuando llega al final de la carrera, la válvula se cierra y el motor está dispuesto a empezar otro ciclo. En la figura 2.8 se muestra la gráfica presión-volumen del ciclo Otto.

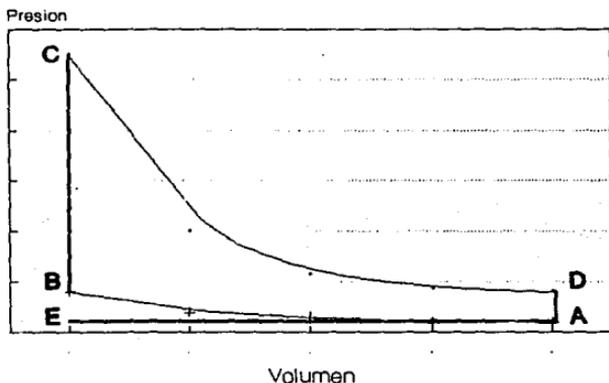


Figura 2.8 Ciclo de aire normal
(Otto)

EL CICLO DE DOS TIEMPOS

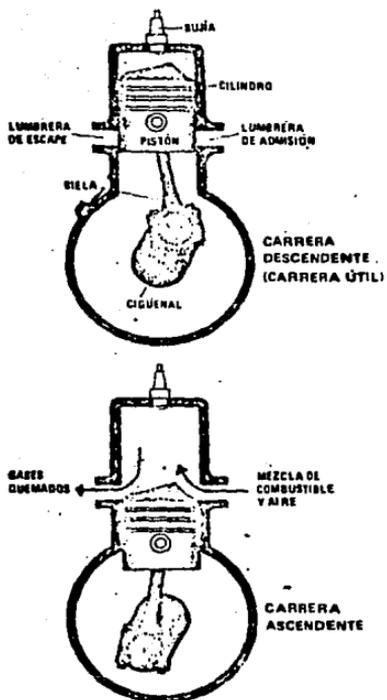
Algunos motores funcionan en un ciclo de dos tiempos, en lugar de cuatro. Generan potencia cada vez que el pistón baja, o sea, cada dos carreras. Esto se consigue combinando el escape, la admisión y la compresión en un solo tiempo.

No tiene válvulas de admisión ni de escape, sino lumbreras abiertas a los lados del cilindro. El pistón las tapa y destapa en su acción ascendente y descendente. Figura 2.9

La mezcla de combustible y aire se comprime antes de penetrar en el cilindro, lo cual se efectúa a veces desviándola al carter, donde la comprime el desplazamiento de descenso del pistón. En otros motores, se utiliza un compresor.

Cuando llega al final de su desplazamiento hacia abajo (punto muerto inferior), el pistón deja al descubierto las lumbreras de admisión y escape. La mezcla de combustible y aire se introducen por la de admisión, al tiempo que los gases quemados salen por los de escape. En teoría la mezcla empuja los gases quemados para que abandonen el cilindro. En la cara superior del pistón una cresta envía la mezcla a la porción alta del cilindro con el fin de impedir que se una con los gases de escape. Pero, en realidad, parte del aire y combustible se confunden siempre con ellos. En ocasiones, se sale también por la lumbrera, lo que implica un mal gasto de combustible; en otras, una parte de los gases quemados queda en el cilindro, lo cual impide que la mezcla arda como debiera.

Un motor de dos tiempos tendría que producir en teoría, el doble de potencia que uno de cuatro tiempos del mismo tamaño. En la práctica, no sucede así. No obstante, los de dos tiempos son más pequeños y ligeros que los de cuatro, y, por ello, se utilizan cuando importa no exceder ciertos límites de peso y tamaño, como en los motores fuera de borda y las segadoras de césped. Consumen más combustible, en proporción a su volumen, que los de cuatro, pero, dada su pequeñez, jamás el consumo resulta excesivo.


Figura 2.9

Ciclo de dos tiempos de un motor de gasolina

PARTES DEL MOTOR DE GASOLINA

Las piezas principales del motor son el bloque de cilindros, la cabeza, los pistones, las bielas y el cigüeñal. (fig 2.10).

Sistema de lubricación. El motor ha de estar lubricado (engrasado) para que todas sus piezas móviles se deslicen con suavidad una sobre otra. Sin la lubricación, las partes en movimiento pronto se calentarían en exceso, se atascarían y sufrirían mucho desgaste. De ello se encarga una bomba de lubricación que empuja el aceite, desde el carter del cigueñal, a través de pequeños orificios del bloque de cilindros, del cigueñal y de las bielas, de modo que llega a todas las piezas móviles. El carter del cigueñal sirve de depósito central de aceite. Casi todos los motores poseen un filtro por el que pasa con el fin de eliminar la suciedad y el polvo.

Sistema de refrigeración. Hace falta algo más que lubricación para impedir que el motor se sobrecaliente, un sistema que lo libere del calor no utilizado de la combustión de la mezcla. En motores alternantes pequeños, basta con cubrir el bloque de cilindros y la cabeza con aletas metálicas (superficies extendidas) que dispersan el calor a la atmósfera. Pero el procedimiento no resulta práctico en el caso de grandes camiones y autobuses.

Estos suelen disponer de un sistema de refrigeración por medio de un líquido. Una bomba impulsa agua para que circule por las canalizaciones previstas en el bloque y la culata. Recoge el calor del motor y lo lleva al radiador, desde donde se dispersa al aire. El radiador es un conjunto de conducciones metálicas de paredes finas, a través de las cuales pasa el calor con facilidad; Están rodeados de aletas metálicas que aumentan el área de transferencia de calor. El sistema se completa con un ventilador, que mueve el propio motor ó uno auxiliar, reducido y eléctrico, que impulsa el aire a través del radiador.

Sistema de escape. Los gases tóxicos que produce la combustión de la gasolina y combustibles similares deben ser eliminados, tras cumplir su tarea de impulsar el pistón. El

múltiple de escape se encarga de recogerlo. Desde el múltiple, los gases van al tubo de escape y se disipan en la atmósfera, a distancia segura del conductor, los pasajeros, ó de cualquier persona que se encuentre cerca del motor. Los de combustión interna son muy ruidosos; por lo tanto necesitan un silenciador incorporado al tubo de escape. Consiste en una cámara hueca y de paredes delgadas, varias veces mayor que la del tubo de escape. Un silenciador típico tiene varias cámaras concéntricas con aberturas entre ellas. El gas entra a la cámara interior y se expande al salir por una serie de orificios en las demás cámaras y finalmente a la atmósfera, esto hace que disminuya la velocidad de los gases de escape y reducen el ruido.

MOTORES DIESEL

El motor Diesel se llama así en honor a su inventor, el alemán Rudolf Diesel (1858-1913). Un día, cuando era estudiante de ingeniería en Munich, observó unos compresores en una fábrica, advirtió que se calentaban mucho. De repente, se le ocurrió una idea: por que no ocupar el calor producido por la compresión, en un motor, para provocar la ignición de la mezcla.

Aunque sus colegas se rieron de su propósito, Diesel construyó un modelo de motor monocilíndrico para comprobar su teoría. Como combustible empleó carbón en polvo.

Cuando intentó poner en marcha su primer modelo, hubo una explosión muy fuerte y el motor saltó por los aires. Con esto se demostró que podía provocar una explosión liberadora de energía sin necesidad de la chispa eléctrica ni de la llama. Le faltaba solo eliminar los defectos de diseño.

Hacia 1898, Diesel lo había mejorado y no tardo en conocer el éxito. Antes de 1930, los motores Diesel eran ya lo bastante ligeros para ser instalados en camiones y autobuses. Figura 2.11

FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DIESEL

Como los de gasolina, los motores Diesel generan energía gracias a la fuerza expansiva de los gases que surgen en los cilindros al arder el combustible. En su violenta explosión, empujan los pistones y lo obligan a descender, lo cual hace girar el cigüeñal.

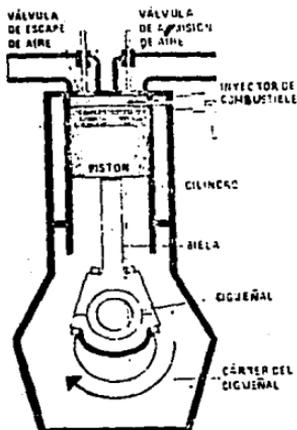


Figura 2.11

Sección de un motor Diesel de cuatro tiempos

La diferencia principal entre los motores de gasolina y los Diesel estriba en el modo de provocar la ignición de la mezcla combustible. En los primeros lo realiza una chispa eléctrica. Los Diesel, prescinden de bujías, distribuidor y generador (necesarios para producir la chispa en los de gasolina). El calor producido por la compresión del aire en los cilindros basta para encender el combustible.

Muchos motores Diesel siguen el ciclo de cuatro tiempos. Solo uno de cada cuatro carreras del pistón resulta útil, las otras tres preparan la carrera útil. Las fases son las mismas que en el motor de gasolina de cuatro tiempos: admisión, compresión, explosión y escape. Pero hay una diferencia en lo que sucede al final de la compresión. Al subir, el pistón comprime el aire hasta unos 35 Kg/cm^2 de presión. Esta alta relación de compresión, calienta el aire hasta una temperatura de alrededor de $538 \text{ }^\circ\text{C}$, suficiente para provocar la autoignición del combustible.

Cuando el pistón llega al punto muerto superior (PMS), en la carrera de compresión, un potente mecanismo de inyección pulveriza combustible en el interior del cilindro, a través de una diminuta abertura. Cuando toca el aire calentado, el combustible arde al punto, creando gases que se expanden con tremenda fuerza en el cilindro y empujan el pistón hacia abajo. Así comienza la carrera útil.

Hay motores Diesel de dos tiempos, funcionan de manera muy parecida a los de gasolina análogos, con la excepción de que el combustible entra en el cilindro cuando el pistón llega al final de su recorrido ascendente punto muerto superior (PMS).

Los motores Diesel funcionan con una amplia gama de combustibles desde parafina o querosina hasta el petróleo crudo, más barato que la gasolina. De hecho los Diesel podrían funcionar con cualquier combustible que se pudiera pulverizar dentro del cilindro. Su elevado índice de compresión les permite aprovechar hasta el 40 % de la energía del combustible. Los mejores motores de gasolina solo aprovechan un 30% de la misma.

La relación de compresión mínima para un Diesel es de 12:1. Por debajo de este el aire no se calienta lo suficiente para producir la ignición. El valor más usado para esto es de 16:1. En la figura 2.12 se muestra el ciclo termodinámico Diesel

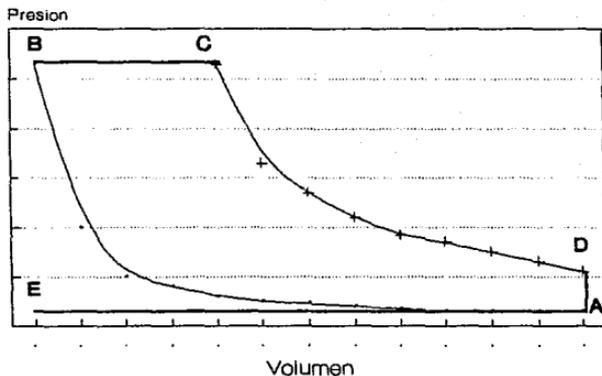


Figura 2.12 Ciclo de aire normal
(Diesel)

EL MOTOR WANKEL

En 1954, el ingeniero alemán Félix Wankel patentó un nuevo tipo de motor, que, como el de gasolina y el Diesel, es de combustión interna, pero, en lugar de pistones normales, lleva un rotor de perfil triangular. Se basa en el ciclo de Otto para su funcionamiento. A medida que gira el rotor en el interior de la cámara de combustión, el motor pasa por las fases de admisión, compresión, explosión y escape. Este motor, denominado motor NSU Wankel, tiene muchas de las ventajas de la turbina de gas pero es más sencillo y barato de fabricar. Hacia mediados de la década de 1970, se vendían en la República Federal de Alemania y en Japón automóviles movidos por este motor (figura 2.13).

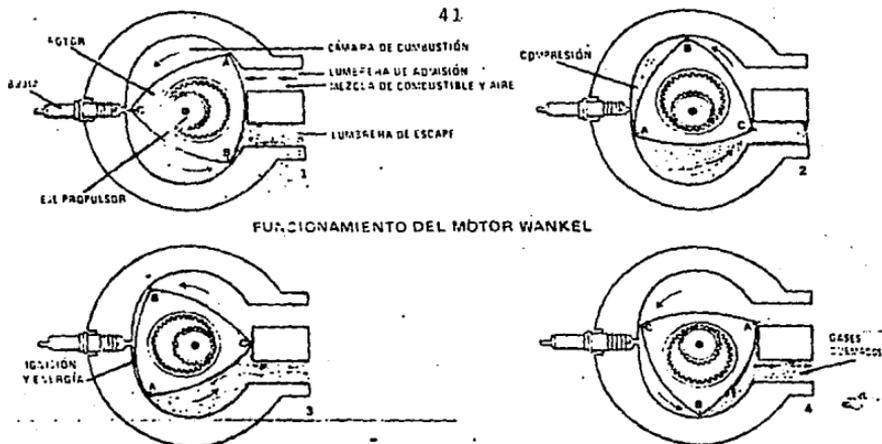


Figura 2.13

Funcionamiento del motor Wankel

GENERACIÓN DE GASES

La combustión se podría decir que empieza en el carburador ya que ahí se realiza la mezcla del aire/carburante, la mezcla se caracteriza por la relación aire/carburante, es decir, el peso de aire por peso de carburante, la relación aire/carburante normalmente usada en los motores de combustión interna debe ser superior a 9 e inferior a 20. La potencia máxima se alcanza con una relación inferior a la correspondiente a un consumo mínimo de carburante. Mezclas con relaciones aire/carburante pequeñas se llaman ricas, mientras que mezclas con relaciones aire/carburante grandes se llaman pobres (fig. 2.14). Durante los momentos de aceleración, cuando más potencia se necesita, se requiere una mezcla más rica que durante la marcha a velocidad de cruceo. La cuestión de la relación aire/carburante se analiza de nuevo posteriormente al estudiar la formación de contaminantes, dado que esta relación es uno de los elementos claves que rigen el tipo y la cantidad de contaminantes producidos por el cilindro.

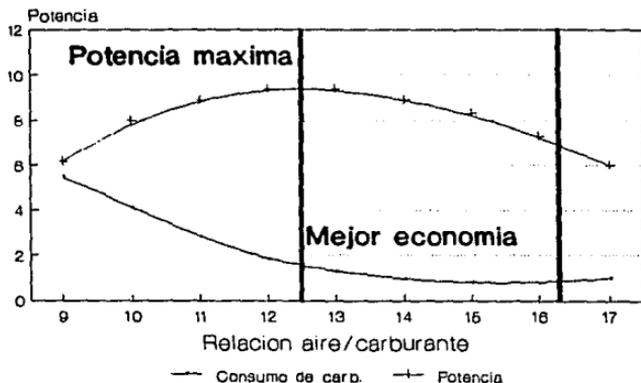


Figura 2.14 Efecto de la relación aire/carburante

El sistema de encendido está diseñado para provocar el encendido de la mezcla de aire/carburante en el instante en que las condiciones permitan obtener una potencia óptima. A medida que la velocidad del motor aumenta, lo más conveniente es adelantar el instante de encendido hasta un punto del tiempo de compresión previo a la llegada del pistón al punto muerto superior (PMS). Esto se debe a que el encendido de la mezcla requiere un cierto tiempo y a que la potencia óptima se alcanza cuando el instante de terminación de la combustión coincide con la llegada del pistón al punto muerto superior (PMS). El rotor del distribuidor está provisto de unos pesos centrífugos que adelantan la producción de la chispa a medida que la velocidad del motor aumenta. Asimismo, un diafragma de presión detecta el flujo de aire a través del carburador y adelanta la chispa a medida que el flujo de aire aumenta. Sin embargo, y como

solución de compromiso, con objeto de reducir el número de octanos de la gasolina necesaria, suele retrasarse ligeramente la producción de la chispa durante el ciclo de compresión con respecto al punto de la máxima potencia.

En un motor Diesel, el aire y el carburante no se mezclan antes de llegar al cilindro. El aire se aspira por acción de la válvula de admisión, y mientras se comprime hasta alcanzar una temperatura elevada, el carburante pulverizado se inyecta en el cilindro a presión elevada y en cantidades bien definidas; la temperatura y presión elevadas de la compresión producen el encendido del carburante sin necesidad de una chispa. El instante del encendido se rige por el instante de la inyección del carburante, y la potencia producida se controla por la cantidad de carburante inyectada en cada ciclo. La mezcla aire/carburante de un motor Diesel es generalmente mucho más pobre que la de un motor encendido por chispa.

EMISIONES DEL CARTER

Las emisiones del carter se deben al escape de gases del cilindro durante los tiempos de compresión y explosión. Los gases escapan por entre las superficies obturadoras del pistón y de la pared del cilindro hasta llegar al carter. Estas fugas alrededor de los anillos del pistón se llaman normalmente pérdidas de compresión. Las emisiones aumentan a medida que el flujo de aire en el motor aumenta, es decir, cuando este se somete a cargas elevadas. Los gases resultantes emitidos por el carter consisten en una mezcla de la que aproximadamente un 85 % es carga aire/carburante sin quemar y el 15 % restante son gases de escape. Debido a que estos gases son principalmente una mezcla de carburante/aire producida en el carburador, los principales contaminantes asociados a ella son los hidrocarburos. Las concentraciones de hidrocarburos en los gases correspondiente a las pérdidas de compresión oscilan entre 6,000 y 15,000 ppm.

Las emisiones de las pérdidas de compresión aumentan a

medida que el motor se desgasta y el sello entre el pistón y la pared del cilindro se vuelve menos eficaz. En los coches sin dispositivo de control, los gases de las pérdidas de compresión se expulsan a la atmósfera por un tubo de ventilación y representa aproximadamente un 25 % de las emisiones de hidrocarburos.

Las pérdidas de compresión corresponden a la primera fuente de emisión del automóvil sometida a control. Empezando con los modelos de coches fabricados en el año 1963, este tipo de emisión ha llegado a controlarse totalmente. Este control se consigue por recirculación del gas que constituye las pérdidas de compresión desde el carter hasta la toma de aire del motor, para ser quemado posteriormente en los cilindros.

EMISIONES POR EVAPORACIÓN

Las emisiones por evaporación provienen del depósito de carburante y del carburador. Las pérdidas del depósito se deben a la evaporación del carburante y al desplazamiento de sus vapores cuando se llena el depósito. La cantidad de evaporación depende de la composición del carburante y de su temperatura. Es obvio que las pérdidas por evaporación son importantes si el depósito está expuesto a temperaturas ambientales elevadas durante largos periodos de tiempo. La cantidad de vapor emitida cuando se añade carburante en el depósito es igual al volumen de carburante añadido.

La evaporación de carburante del carburador ocurre principalmente durante el periodo inmediatamente posterior a la parada del motor. Durante el funcionamiento del motor, el carburador y el carburante contenido en él permanece aproximadamente a la misma temperatura que la del aire bajo el cofre. Sin embargo, cuando se para el motor, la corriente de aire cesa y la cuba del carburador absorbe calor del motor caliente, haciendo que el carburante alcance temperaturas de 15 a 20 °C por encima de la temperatura ambiente. La gasolina

vaporizada se escapa por las aberturas de ventilación del carburador hasta llegar a la atmósfera. Esta situación se llama remojo en caliente. La cantidad y la composición de los vapores dependen de la volatilidad del carburante, del volumen de la cuba del carburador y de la temperatura del motor antes de pararse. La cantidad de hidrocarburos que puede emitirse durante un remojo en caliente es de 5 g. aproximadamente.

La evaporación de carburante, tanto del depósito como del carburador, representa aproximadamente un 20% de los hidrocarburos emitidos por un automóvil desprovisto de dispositivos de control.

Es obvio que la volatilidad de la gasolina es un factor fundamental en las pérdidas por evaporación. La medida de la volatilidad del carburante se obtiene empíricamente por la presión de vapor de Reid, que es un valor global que refleja el efecto acumulativo de las presiones de vapor individuales de los diferentes componentes de la gasolina: este valor proporciona una medida de la facilidad con la que el carburante se vaporiza para producir una mezcla combustible a bajas temperaturas, a la vez una indicación de la tendencia que tiene el carburante a evaporarse. En una mezcla completa de hidrocarburos, tal como la gasolina, las moléculas de peso molecular más bajo tienen la tendencia más elevada a vaporizarse y, por consiguiente, contribuyen en un mayor grado a la presión de vapor total que los componentes de peso molecular más elevado. A medida que los componentes con peso molecular más bajo del carburante se agotan por evaporación, la presión de vapor del carburante disminuye. El valor de la presión de vapor de la gasolina obtenido depende, por consiguiente, del grado de evaporación conseguido durante la prueba. La determinación de vapor de Reid es una prueba estándar realizada a 370 °C en la que la proporción final entre el volumen de vapor y el volumen de líquido es constante de forma que el grado de vaporización sea siempre el mismo. Por consiguiente, la presión de vapor de Reid de varios carburantes puede utilizarse como medida comparativa de su volatilidad, de

donde se concluye que la volatilidad y, por tanto, la pérdida por evaporación aumenta en función de la presión de vapor de Reid.

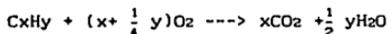
EMISIONES DE HIDROCARBUROS EN LOS GASES DE ESCAPE

La oxidación completa e ideal de un carburante constituido por hidrocarburos da lugar como únicos productos de la combustión a CO_2 y H_2O . Desgraciadamente, las condiciones en las que la oxidación tiene lugar en un motor de combustión interna hace que se originen otros productos entre los que figuran el CO , y el H_2 y diversos hidrocarburos parcialmente oxidados tales como los aldehídos. Además parte de la gasolina presente inicialmente permanece sin quemar, y parte se divide en moléculas de hidrocarburos más pequeñas por cracking térmico. Así mismo, cuando el aire se utiliza como fuente de oxígeno, parte del N_2 y del O_2 se combinan para dar NO . Por último, las partículas, especialmente las que contienen compuestos de plomo, vienen a añadirse a las emisiones gaseosas.

El tipo y la cantidad de contaminantes en los gases de escape depende de una serie de factores entre los que figuran:

- 1.- Relación aire carburante
- 2.- Momento del encendido
- 3.- Relación de compresión
- 4.- Geometría de la cámara de combustión
- 5.- Velocidad del motor
- 6.- Tipo del carburante

La combustión completa de una determinada cantidad de carburante requiere una cantidad exacta de oxígeno definida por la relación fundamental.



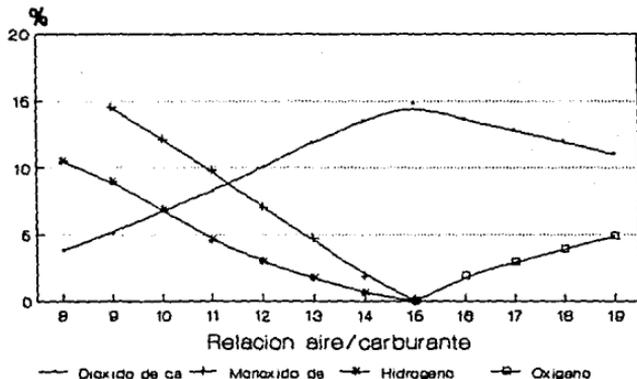
Por ejemplo, la mayoría de los carburantes constituidos por hidrocarburos pueden representarse con exactitud con contenido de 1.85 átomos de hidrógeno por átomo de carbono. Por tanto para $x=1$, $y=1.85$.



Una mezcla aire/carburante que tiene la relación teóricamente necesaria para obtener una combustión completa sin exceso de O_2 se llama una mezcla estequiométrica. Una mezcla estequiométrica de una gasolina típica requiere aproximadamente 14.6 partes en peso de aire por parte de peso en carburante. Si la mezcla contiene menos cantidad de aire que la cantidad estequiométrica, se dice que es una mezcla rica, mientras que con exceso de aire, la mezcla se denomina pobre. Por consiguiente, una medida habitual de las condiciones de combustión es la relación aire/carburante, es decir, el peso de aire dividido por el peso del carburante que pasa del carburador a los cilindros. Otra medida relacionada con la primera es la llamada relación de equivalencia, es decir, el cociente entre la verdadera relación carburante/aire y la relación estequiométrica carburante/aire (obsérvese que se escribe carburante/aire y no aire/carburante). La simple relación aire/carburante se utiliza más frecuentemente, aunque la relación de equivalencia tiene la ventaja de indicar exactamente la desviación con respecto a las relaciones estequiométricas. Se comprueba que la máxima potencia requiere una mezcla más rica que la estequiométrica, mientras que la mejor economía del carburante se consigue con una mezcla más pobre que la estequiométrica (figura 2.15).

El factor individual más importante que determina las emisiones producidas es la relación existente entre los productos de la combustión y la relación aire-carburante. La combustión de mezclas ricas conduce a la formación de CO , así como la presencia de carburante residual en los gases de escape, bien sin quemar ó bien parcialmente quemado. Por el

contrario, las mezclas pobres producen cantidades mucho más pequeñas de CO y de hidrocarburos sin quemar. Sin embargo, si la mezcla es demasiado pobre, con una relación aire/carburante superior a 17, aproximadamente, puede ocurrir que la mezcla no se encienda correctamente, dando lugar a falla del motor y a que grandes cantidades de carburante circulen por el motor sin quemarse.



El % referido a una mezcla seca

Figura 2.15 Relación entre los productos de la combustión

La relación aire-carburante es función del modo de operación del automóvil, por tanto, las emisiones de los gases de escape variarían según el régimen de funcionamiento. Durante el funcionamiento en ralentí, la mayoría de los motores necesitan mezclas ricas para compensar la presencia en los cilindros de productos residuales de la combustión. Por consiguiente, la emisiones de CO son elevadas durante el

ralenti. Durante la aceleración, los residuos de carburante permanecen en los cilindros, produciendo niveles elevados de hidrocarburos sin quemar. La concentración de CO aumenta a medida que la proporción aire/carburante disminuye de forma que la concentración de CO es máxima cuando el coche funciona en ralenti y durante la deceleración. Cuando el motor entrega potencia elevada, así como durante la aceleración máxima, también se producen concentraciones de CO más elevadas que la debida a una velocidad de crucero con moderada potencia, situación en la que los niveles de CO son los mínimos (figura 2.16).

CONTAMINANTES	Ralenti	Accele- ración	Velocidad de crucero	Decelera- ción
Monóxido de carbono %	4-9	0-8	1-7	2-9
Hidrocarburos ppm	500-1000	50-800	200-800	3000-12000
Oxidos de nitrógeno ppm	10-50	1000-4000	1000-3000	5-50

Figura 2.16

EMISIONES DE PARTÍCULAS EN LOS GASES DE ESCAPE

Los gases de escape y las pérdidas de compresión del carter de los motores de combustión interna contiene partículas de carbono, de ceniza metálica y de hidrocarburos. Las partículas con una base metálica provienen de los compuestos antidetonantes de plomo presentes en el carburante, de los

aditivos metálicos del aceite lubricante y del desgaste y deterioro del motor. Las partículas con base de carbono y de hidrocarburos provienen de la combustión incompleta de carburante y del escape del aceite del carter a través de los anillos del pistón a la cámara de combustión.

Una fracción de estas partículas se deposita en las superficies del sistema de escape para luego desprenderse y ser arrastradas por los gases de escape. Por consiguiente, la cantidad y naturaleza de las emisiones de partículas en los gases de escape de un automóvil en un momento dado están influenciadas por diversos procesos físicos y químicos que hacen que la descripción completa del carácter de estas emisiones sea una tarea muy difícil. Muchos factores, tales como la manera de conducir el vehículo, la edad y el kilometraje del coche y el tipo de carburante utilizado influyen en la composición y en la velocidad de emisión másica total de partículas en los gases de escape.

Bajo ciertas condiciones de conducción, el componente principal de las partículas de los gases de escape son los compuestos del plomo derivados de la utilización de tetraetilo de plomo como un aditivo antidetonante del carburante.

La cantidad total de plomo en los gases de escape es directamente proporcional a la cantidad de tetraetilo de plomo presente en la gasolina. La mayor parte de los estudios más importantes realizados sobre las partículas contenidas en los gases de escape se ha concentrado sobre el plomo. Las razones para ello son tres:

- 1) El plomo es una sustancia tóxica,
- 2) Los depósitos de plomo en el motor pueden producir un aumento de las emisiones de hidrocarburos sin quemar, y
- 3) Los compuestos de plomo contenido en los gases de combustión aumentan notablemente las dificultades de tratar catalíticamente los gases de escape. (Esto es lo más importante y la razón por que se ha prohibido la

gasolina con plomo en los E.U.A.).

Diversos estudios realizados han mostrado que el diámetro de las partículas de plomo emitidas oscilan entre 0.1 μm y varios milímetros y que la proporción entre las partículas finas y gruesas emitidas varía según la velocidad del vehículo.

Habibi (1970, 1973) estudio el efecto de las condiciones de conducción y de la edad del vehículo tanto sobre las emisiones de partículas como sobre las emisiones totales de donde se realizarón las siguientes observaciones con respecto a las emisiones de plomo:

- 1.- El porcentaje del contenido de plomo de la gasolina que se emite con los gases de escape aumenta a medida que aumenta la velocidad del vehículo. Los porcentajes medidos oscilan entre un 10 % a 30 km/h y un 90 % a 110 km/h.
- 2.- Después de 5,000 a 8,000 km de recorrido, un coche nuevo alcanza el valor mínimo de emisión de sales de plomo. Rebasando este punto, y a medida que aumenta el kilometraje, las emisiones de plomo experimentan notables fluctuaciones (las emisiones, expresadas en gramos de PbBrCl por kilometro, oscilan entre 0.03 g/Km cuando el coche es nuevo, entre 0.06 y 0.1 g/Km con recorrido entre 5,000 y 8,000 Km y entre 0.12 a 0.25 g/Km después de 30,000 Km de recorrido).

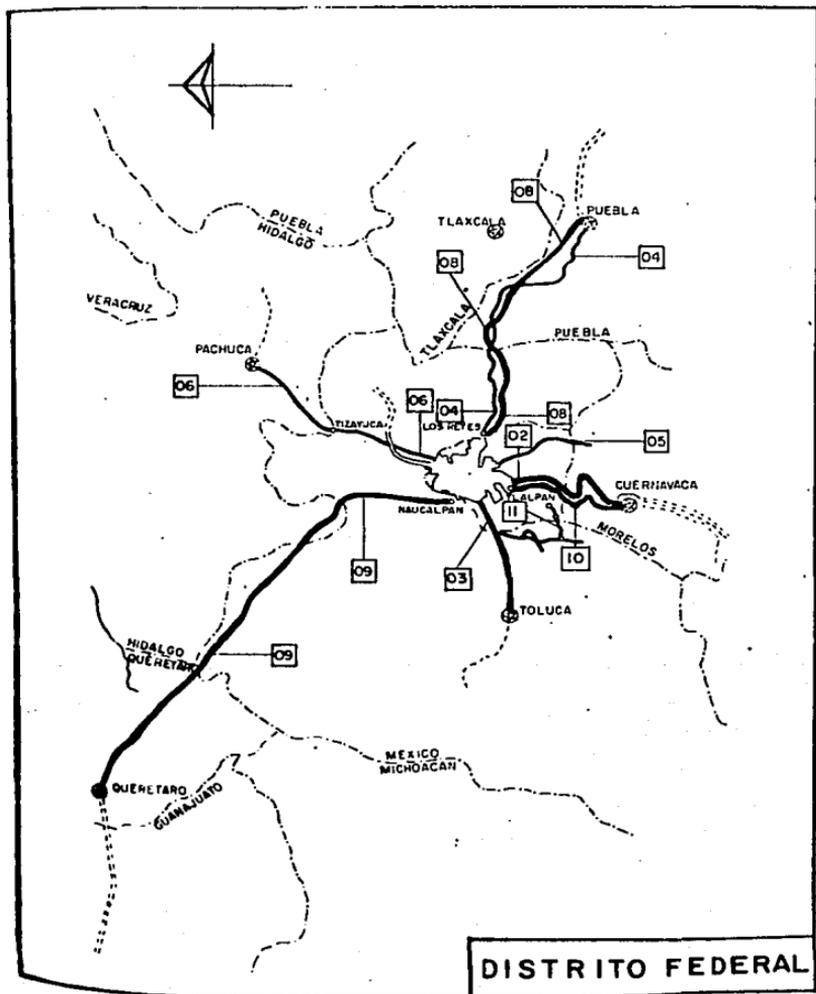
La explicación dada a estas dos observaciones consiste en el desconchamiento y arrastre del plomo previamente depositado provocado por una circulación a gran velocidad del vehículo y por el envejecimiento del mismo. La hipótesis de arrastre ha sido también confirmada por medidas realizadas sobre el efecto del kilometraje en el tamaño de las partículas de plomo. Habibi ha mostrado que a lo largo de los 45,000 Km recorrido por un vehículo de prueba, el porcentaje de partículas gruesas de plomo emitidas aumentan, mientras que la fracción de partículas

de plomo emitidas con diámetro inferior a $0.3 \mu\text{m}$ experimenta una reducción simultanea. Las emisiones de plomo de un coche medio, con más de 30,000 Km acumulados, constan aproximadamente de un 50 % de partículas con diámetro inferior a $5 \mu\text{m}$ y de un 25 % de partículas con diámetro inferior a $1 \mu\text{m}$.

Se ha estudiado también la composición de las partículas de los gases de escape. Las partículas con diámetro superior a $200 \mu\text{m}$ tienen una composición similar a los depósitos que se forman en el sistema de escape, confirmando el hecho de estar formadas por material de arrastre. Estas partículas contienen alrededor de un 60 a 65 % de sales de plomo, un 30 a 35 % de Fe_2O_3 y un 2 a 3 % de material carbonoso. La principal sal de plomo es PbBrCl (en partículas con diámetro superior a $2 \mu\text{m}$ aproximadamente). Las partículas de plomo con diámetro inferior a $1 \mu\text{m}$ están constituidas principalmente por $2\text{PbBrCl} \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$. Además, existe mucho más material carbonoso asociado con las partículas pequeñas que con las partículas grandes.

POBLACIÓN VEHICULAR

El análisis anterior se presenta para tan solo un motor de combustión interna, ahora bien si se considera el número de vehículos que circulan en la ciudad se podrá tener un idea de la contaminación que se realiza diariamente en la ciudad, Para lo anterior se tomaron algunas estadísticas del tránsito vehicular en las principales autopistas que convergen al Distrito Federal.



DISTRITO FEDERAL

02 MEXICO - GUERNAVACA (CUOTA)

SENTIDO 1

RUTA: MEX - 095 D

FECHA: 1983

L	U	G	A	R	KM	TE	TDPA	(A%	(B%	(C%
México					0.00					
T Der. Carr. México-Guernavaca										
(Libre)					18.65	3	12900			
Caseta de Cobro					23.30	3	10190			
Lim. Edos. Term. D.F. Ppia. Mor.					47.09					
T Der. Cuernavaca					79.26	1	12460			
Cuernavaca					98.55					

02 MEXICO - GUERNAVACA (CUOTA)

SENTIDO 2

RUTA: MEX - 095 D

L	U	G	A	R	KM	TE	TDPA	(A%	(B%	(C%
México					0.00					
T Der. Carr. México-Cuernavaca										
(Libre)					18.65	3	12300			
Caseta de Cobro					23.30	3	10190			
Lim. Edos. Term. D.F. Ppia. Mor.					47.09					
T Der. Cuernavaca					79.26	1	11785			
Cuernavaca					98.55					

03 MEXICO - TOLUCA

SENTIDO 1

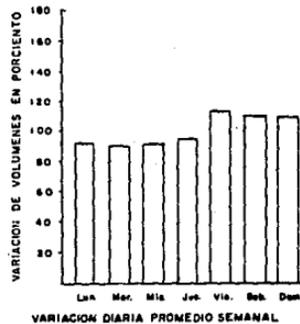
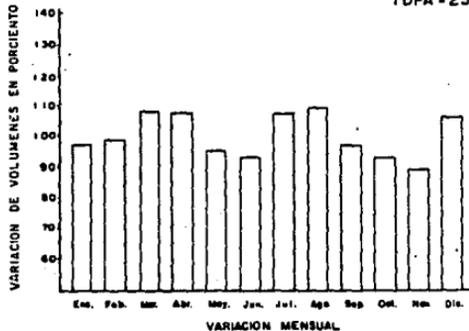
RUTA: MEX - 015

L	U	G	A	R	KM	TE	TDPA	(A%	(B%	(C%
México					0.00					
Entronque Constituyentes										
y Reforma					12.84	3	27500			

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DIRECCION DE INGENIERIA DE TRANSITO Y ESTUDIOS ESPECIALES DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS
 VOLUMENES REGISTRADOS EN LA ESTACION MAESTRA CPFI 4
 TEPOTZOTLIAN, EDO. DE MEX.

	AMBOS SENTIDOS								1983.			
	A	AR	B	C2	C3	C4	C5	VNC	A	B	C	T
ENE	432010	789	83212	61592	51194	2149	70328	13023	432799	83212	185263	714297
FEB	384170	786	75344	62809	49086	1836	68140	10462	384956	75344	181871	652633
MAR	500716	1128	88008	70483	52173	2103	73522	9262	501844	88008	198281	796395
ABR	481041	774	81651	64793	50988	2166	71265	6449	481815	81651	189212	759127
MAY	419868	706	80821	61267	54381	2135	71973	6368	420574	80821	189756	699119
JUN	389451	549	77168	60679	53354	2293	71700	6306	390000	77168	188026	661500
JUL	496536	985	85591	64606	58027	2480	70822	5851	497521	85591	195935	784898
AGO	504562	772	84955	68918	59371	2357	74299	5070	505334	84955	204945	800304
SEPT	422552	820	77982	61771	53247	2281	69520	4985	423372	77982	186919	693258
OCT	411174	750	81655	61692	53311	2242	70157	5014	411924	81655	187402	685995
NOV	369878	687	76610	60964	48807	2191	69612	4327	370565	76610	181574	633076
DIC	520003	961	85024	58603	48194	2175	64643	3529	520964	85024	173615	783132
TOTAL	5331961	9707	978021	758177	632133	26408	846081	80246	5341668	978021	2262799	8662734
MAX M	522003	961	100980	69918	69228	2363	94488	13023	522964	100980	211787	800010
PROM M	444330	809	81502	63181	52678	2201	70507	6687	445139	81502	188567	721895
							POR CIENTO	0.93	61.66	11.29	26.12	100.00

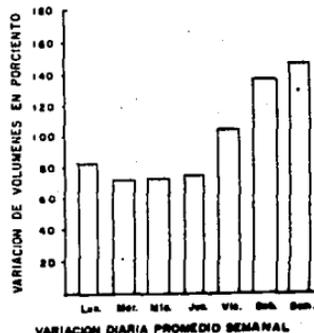
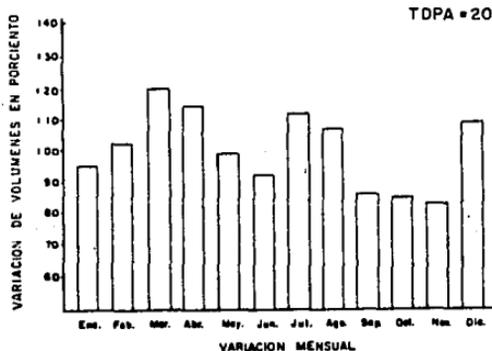
TOPA = 23733



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA DE TRANSITO Y ESTUDIOS ESPECIALES DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS
VOLUMENES REGISTRADOS EN LA ESTACION MAESTRA CPFI 1

TOPILEJO, D.F.	AMBOS SENTIDOS							1983				
	A	AR	B	C2	C3	C4	C5	VNC	A	B	C	T
ENE	501693	002	42933	24304	9522	515	9756	12498	502495	42933	44097	602023
FEB	486797	857	42139	20556	9221	569	9585	10811	487654	42139	39931	580535
MAR	660994	1368	49356	19855	10197	558	11125	6448	662362	49356	41735	759901
ABR	607481	1026	46366	20315	9716	590	10177	6417	608507	46366	40798	702088
MAY	533480	840	47190	21120	9904	486	9887	5330	534320	47190	41397	628237
JUN	480926	846	38244	17983	9512	479	9538	5437	481772	38244	37612	563965
JUL	626145	998	35810	17852	8976	415	9542	6126	627143	35810	36785	705864
AGO	588121	946	45599	21572	9569	425	10313	5047	589067	43599	41879	679592
SEP	439991	684	39266	21585	8736	375	8461	4877	440615	39266	39157	523915
OCT	453871	745	41432	20061	8503	327	8922	4812	454616	41432	37813	538673
NOV	431665	894	37728	17350	8051	375	9448	5219	432559	37728	35224	510730
DIC	550476	1311	41294	19310	8227	278	9790	5600	551787	41294	37605	636286
TOTAL	6361580	11317	505357	241863	110134	5392	116644	78622	6372897	505357	474033	7430909
MAX M	660994	1368	49356	23304	10197	590	11125	12498	662362	49356	44097	759901
PROM M	530131	943	42113	20155	9177	449	9722	6551	531074	42113	39502	619242
							POR CIENTO	1.06	85.78	6.80	6.38	100.00

242



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1.-Velazco L. Alejandro "La contaminación atmosférica en la Ciudad de México"
Revista Ciencia y Desarrollo, México D.F.
(1983)
- 2.- Anónimo "Manual de automóviles y vehículos motorizados"
Ejercito de los Estados Unidos, Ed. Cecsá
(1972)
- 3.- Seinfeld H. John "Contaminación atmosférica: Fundamentos físicos y químicos"
(1976)
- 4.- Anónimo "Los motores y su funcionamiento"
Enciclopedia Juvenil Grolier Vol 10
Ed. Cumbre
- 5.- Anónimo "Datos viales 1984"
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
(1984)
- 6.- Lester C. Liehti. "Proceso de los motores de combustión"
Ed. Mc Graw Hill
(1980)

CAPITULO 3. DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES Y METODOS DE CONTROL.

INTRODUCCIÓN:

Debido a la agudización, en los últimos años, del problema de la contaminación atmosférica y esto especialmente en la ciudad de México, se ha hecho imprescindible el control de las fuentes de emisión de contaminantes, especialmente contaminantes en fase gaseosa .

A las fuentes de emisión se les suele dividir en fuentes móviles y fuentes fijas de acuerdo con su capacidad de desplazamiento ; característica que permite tener un control mucho más severo en las fuentes fijas , no siendo así en las móviles.

Dentro de las fuentes fijas se tiene a las industrias que en alguna parte de su proceso emiten contaminantes a la atmósfera, ya sea productos químicos ó productos de la combustión, pudiendo clasificarse por el tipo de contaminante que emiten y el volumen de los mismos .

En el caso de las fuentes de tipo fijo, se tiene la ventaja que casi siempre los procesos industriales operan a régimen permanente o semipermanente, lo que permite una mejor predicción y por tanto un mejor control de los contaminantes emitidos. En la ciudad de México el problema fundamental no es el aspecto técnico en el control de contaminantes, en fuentes fijas, sino que, los principales problemas se derivan del no acatamiento de las disposiciones legales por parte de las industrias.

El proceso de combustión emite un mayor volumen de contaminantes que ninguna otra fuente por separado pudiéndose identificar tres tipos de contaminantes básicos:

- 1).- Productos resultantes de una combustión incompleta tales como hidrocarburos y óxidos de carbono.

- 2).- Contaminantes debidos a impurezas contenidas en los combustibles, como por ejemplo los óxidos de azufre compuestos de fósforo y sales de plomo.
- 3).- Formación de óxidos de nitrógeno como consecuencia de reacciones de combustión a alta temperatura y con un exceso de aire, existiendo una razón de proporcionalidad entre estas variables y la formación de óxidos de nitrógeno, como se ha mencionado en el capítulo 2.

TÉCNICAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES

Las técnicas de control de los contaminantes gaseosos se dividen en dos grandes áreas. La primera de ellas elimina los contaminantes mediante procesos de absorción y/o adsorción del gas contaminante.

La absorción consiste en hacer pasar el gas portador del contaminante a través de una serie de dispositivos en los cuales el gas entra en contacto íntimo con una solución líquida capaz de disolver, de manera selectiva el gas contaminante. Este proceso de uso común para eliminar contaminantes como el SO, NO y NO₂ así como H₂SO₄ de los flujos de gas industrial.

Al fenómeno de difusión de un gas en un sólido se le denomina adsorción, pudiendo ser retenido el gas, bien por fuerzas químicas ó bien por fuerzas físicas. Los sólidos más adecuados para la adsorción son los que tienen grandes relaciones área superficial- volumen, es decir los sólidos más porosos.

Entre los sólidos más comunes con estas propiedades se encuentra el carbón activado, la alúmina y el gel de sílice.

La otra gran área en la que se dividen las técnicas de control de contaminantes está constituida por las que involucran transformaciones químicas del contaminante antes de ser emitidas a la atmósfera.

Esta transformación química comúnmente se logra mediante una

combustión ya sea directa o por medio de procesos catalíticos. Generalmente para conseguir resultados óptimos se hace un uso simultáneo de ambas técnicas además del empleo de dispositivos adicionales y en último caso un rediseño del proceso.

EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA: CONTAMINANTES EMITIDOS Y SU CONTROL

Las emisiones de los motores de combustión interna, provienen en su gran mayoría del parque vehicular de la ciudad de México, contribuyen de manera importante al problema de la contaminación atmosférica, por lo que se hace necesario un análisis detallado de los mecanismos de contaminación de este tipo de fuentes.

De manera general se puede decir que cantidad total de contaminantes emitidos por un automóvil tiene una variación temporal y es función del porcentaje de tiempo que el automóvil permanece en cada uno de los regímenes de funcionamiento (aceleración, velocidad de crucero, deceleración y parada). Cada uno de estos regímenes depende a su vez de los hábitos del conductor, del tipo de calle donde circule el automóvil, las condiciones mecánicas del vehículo y por la presencia o ausencia de dispositivos de control.

El estado mecánico del motor es el factor más importante y que afecta de manera directa el funcionamiento óptimo del mismo.

Entre los aspectos mecánicos más importantes que se deben de tener en cuenta para lograr una disminución en la emisión de contaminantes de un vehículo se tienen las siguientes:

A) Defectos en la distribución de la mezcla carburante entre los cilindros.

En el carburador es difícil alcanzar una pulverización completa y la necesaria evaporación del carburante.

La mezcla que pasa por los conductos contiene una cierta cantidad de combustible líquido en forma de gotas diminutas.

Dichas gotitas poseen a su vez una inercia mayor que la mezcla gaseosa y por ello, cuando la dirección de la corriente gaseosa se altera, las gotitas tienden a mantener su dirección de movimiento ocasionando con esto una diferencia en la relación de la mezcla entre los diversos cilindros dependiendo de la forma de los conductos y la posición relativa de cada cilindro. En la gráfica 3.1 se muestra la distribución de mezcla en un motor a diferentes regimenes.

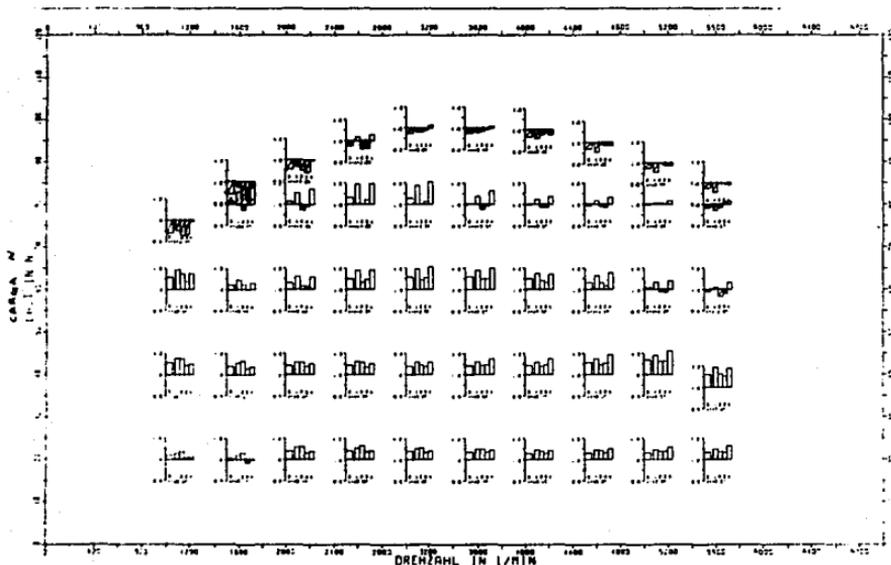


DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE MEZCLA

Gasolina libre de plomo Carburador Motor FIAT 1300

Fuente: Protocolo de prueba de la empresa privado PIERBURG.

Figura 3.1

Como consecuencia de este tipo de falla algunos cilindros pueden quemar una mezcla con exceso de combustible y otros con exceso de aire afectando los niveles de emisión de hidrocarburos sin quemar y óxidos de carbono en el primer caso y óxidos de nitrógeno en el segundo caso.

Una solución en este tipo de falla consiste en calentar los conductos por donde circula la mezcla carburante. El calentamiento se hace mediante los gases de combustión al hacerlos recircular en ductos que estén en contacto con los conductos de la mezcla carburante, ó también se puede lograr mediante el agua de refrigeración del motor ó una resistencia eléctrica.

Al calentarse la mezcla, el combustible en forma líquida que pudiera tener se evapora. Por desgracia este método origina que debido al calentamiento, la mezcla carburante se expande originando con esto una disminución de la carga real de combustible admitido en los cilindros originando con esto una pérdida de potencia en el motor. No obstante, el problema se puede salvar mediante el empleo de turbocargadores para alimentar una mezcla comprimida a los cilindros lo que causaría a su vez una mejora en el proceso de combustión.

B) Fallas en el carburador.

El carburador es el dispositivo destinado a preparar la mezcla aire-combustible en la proporción requerida por el régimen del funcionamiento del motor.

En la figura (3.2) se muestran algunos de los sistemas de alimentación de combustible a los pistones.

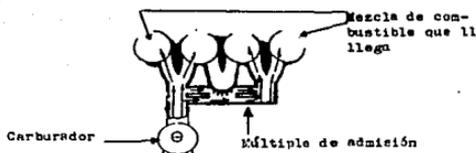


Figura 3.2 Sistemas de alimentación a los pistones
(3 , 1977)

Una de las fallas más frecuentes en el carburador es la ocasionada por un mantenimiento inadecuado del mismo lo que lleva a una acumulación de depósitos que interfieren con el desempeño adecuado de los órganos móviles como por ejemplo se tiene el caso del ahogador, el elemento que tiene la función de proporcionar una mezcla rica durante la fase de arranque. Cuando el ahogador se abre completamente ó está pegado, en el peor de los casos, ocasiona que el carburador suministre siempre una mezcla con exceso de combustible, con respecto a una mezcla estequiométrica, lo que trae como consecuencia que los niveles de emisión de hidrocarburos no quemados y de monóxido de carbono se eleven debido a una combustión incompleta.

C) Ineficiencias en la cámara de combustión.

Se considera que la combustión es normal cuando comienza en el punto y en el instante en que salta la chispa y progresa gradualmente hasta alcanzar todas las zonas de la cámara. Es anormal cuando habiendo principiado con el salto de la chispa, no progresa del modo regular antes descrito, ó bien no es provocada directamente por la chispa sino por otras causas.

Las cámaras de combustión se diseñan para proporcionar las condiciones mas adecuadas para el desarrollo de una combustión normal , pero la geometría de la cámara puede verse alterada al crearse depósitos generalmente causados por la existencia de plomo en la gasolina ó por depositos carbonosos debido a una combustión incompleta del combustible. Estos depósitos generan superficies que impiden que el combustible sea quemado de una manera correcta debido a que pueden absorber pequeñas cantidades de combustible, mismos que no se queman en la reacción de combustión. Este fenómeno trae como consecuencia que los niveles de hidrocarburos sin quemar se incrementen Tambien puede afectar la potencia del motor al formarse depósitos en las lumbreras de escape y de admisión. En la figura 3.3 se muestran las zonas de formación de contaminantes en la cámara de combustión. Esto se debe principalmente a las diferentes temperaturas que se tienen en la cámara de combustión y de las condiciones dinámicas del flujo de gases carburantes.

D) Fallas en los anillos del pistón.

Denominados también aros de expansión, colocados en las ranuras practicadas en la superficie exterior del pistón, tienen la misión de evitar que el aceite lubricante pase en cantidad excesiva del depósito de aceite a la cámara de combustión, dejando sin embargo, entrar una pequeña cantidad necesaria para la lubricación. Por sus características de trabajo los anillos y la camisa del pistón están sometidos a severas condiciones de desgaste, por lo que, la calidad y el mantenimiento adecuado de estos elementos cobra gran importancia. Cuando los anillos sufren un desgaste los gases de la mezcla carburante, en la cámara de combustión, escapan por entre las paredes obturadas del pistón y la pared del cilindro hasta llegar al carter. Estas fugas alrededor de los anillos del pistón se denominan a

menudo pérdidas de compresión.

Las pérdidas de compresión se incrementan a medida que aumenta el flujo de aire en el motor, es decir, cuando trabaja a cargas elevadas. Se ha encontrado que la composición de estos gases de fuga es de aproximadamente 85% de carburante sin quemar y el 15% restantes son gases de escape, por lo que las concentraciones de hidrocarburos en los gases provenientes de las pérdidas de compresión, oscilan entre 6000 y 15000 p.p.m.

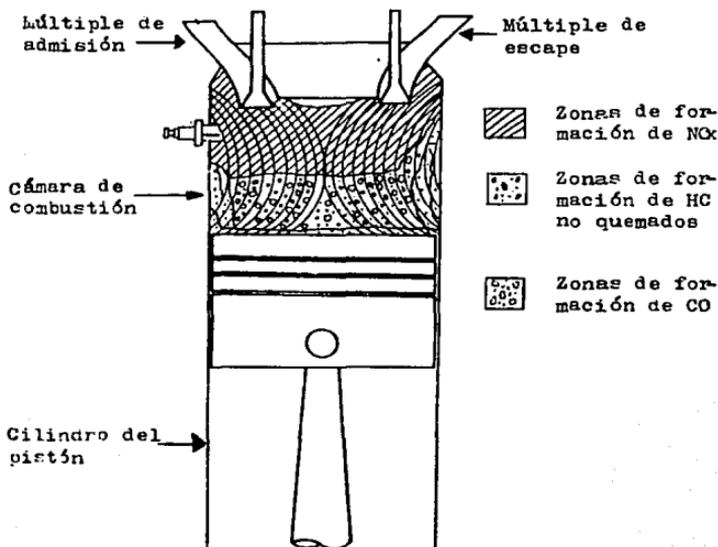


Figura 3.3

Zonas de formación de contaminantes en los cilindros

Arias (1972)

Otra consecuencia del mal estado de los anillos es el consumo excesivo de aceite, que penetra en la cámara de combustión debido al sello inadecuado de los anillos. Por las características químicas del aceite este no alcanza a ser quemado totalmente por lo que los niveles de emisión de hidrocarburos sin quemar se incrementa también por esta causa. En un motor que funciona normalmente se estima que el 25% de las emisiones de hidrocarburos en el escape proviene del consumo de aceite.

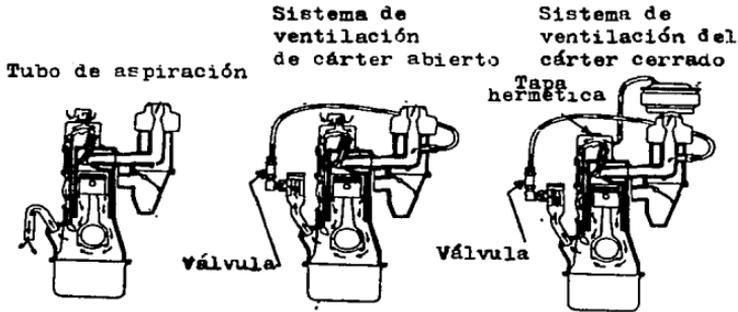
Para el control de las emisiones por pérdidas de compresión además del mantenimiento periódico recomendado por los fabricantes de automóviles, se efectúa mediante el reciclamiento de los gases provenientes de las pérdidas de compresión desde el cárter al sistema de toma de aire.

Un sistema comunmente usado es el denominado sistema de control de ventilación positiva del carter (PCV) (figura 3.4), en el cual el aire de ventilación es aspirado y dirigido hacia el carter, desde donde asciende através de la válvula y el tubo de ventilación para incorporarse finalmente al múltiple de admisión del motor.

En la actualidad todos los automóviles traen incorporado el sistema (PCV) para control de los gases provenientes de las pérdidas de compresión, sin embargo, se ha observado que ya sea por negligencia ó descuido de los mecánicos, no se efectúan las conexiones, ya sea del filtro de aire al tapón del aceite ó de la válvula de ventilación del carter al sistema de succión del carburador. Esto se debe a que la adecuada conexión tiene poca relevancia en el funcionamiento del motor pero, de no hacerlo sí implica que los gases provenientes de las pérdidas de compresión pasen directamente a la atmósfera.

Otro elemento contaminante es el carburante evaporado del depósito de gasolina y del carburador. En el carburador se da durante el remojo en caliente. Uno de los métodos de control y que es el más común, hace uso como en el caso de los gases

provenientes de las pérdidas de compresión, del espacio vacío del cárter como depósito transitorio de los vapores de gasolina. (figura 3.5), o en su caso se depositan los vapores de gasolina en el cánister.



VALVULA MEDIDORA DE LA VENTILACION DEL CARTER

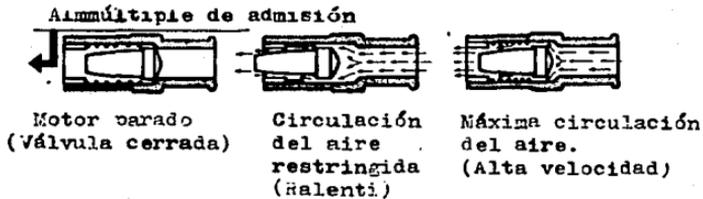
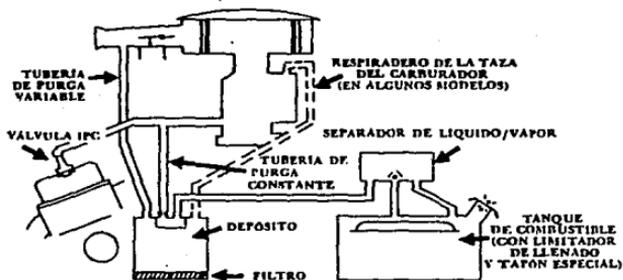


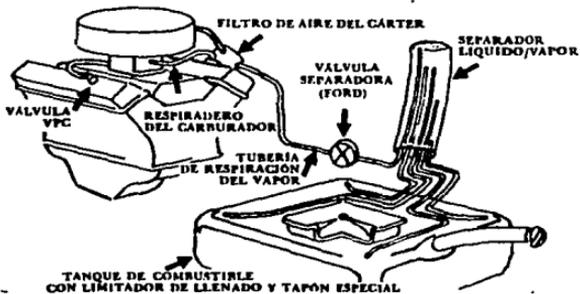
Figura 3.4

Sistemas de ventilación del cárter

(3 , 197')



Tipo con depósito de almacenamiento



Tipo de almacenamiento en el cárter

Figura 3.5

Sistema para el control de emisiones por
(3, 1977) evaporación del combustible

Este método llamado de recuperación de vapor, aprovecha que durante un remojo en caliente el descenso de la temperatura del carter o del canister produce una reducción de presión en el mismo, suficiente como para aspirar los vapores producidos, siendo almacenado en el carter. En el caso del depósito de gasolina el vapor pasa primero a un condensador y un separador de vapor-líquido, desde donde el vapor pasa a un filtro de carbón activado mismo que lo retiene para después ser eliminado con los flujos hacia el carburador. Al funcionar nuevamente el motor, el líquido se reincorpora nuevamente al tanque de gasolina y los vapores almacenados en el carter se envían al sistema de toma de aire del carburador por medio del sistema (PCV).

EL SISTEMA DE ENCENDIDO: SUS FALLAS Y SUS CONSECUENCIAS.

Los aspectos más importantes de la flama; instante de encendido, rapidez de flama y frente de flama dependen en gran medida de las características de la chispa inicial mediante la cual se inicia la flama. A su vez las características de la chispa, intensidad y duración están en función de las condiciones de operación de la bobina, estado del condensador, de la batería, del distribuidor e incluso de los cables que conducen la corriente a las bujías y por supuesto las bujías mismas.

Por las características del medio dentro del que operan, las bujías son el elemento que más falla ó irregularidades de funcionamiento presentan. Como se sabe, la bujía tiene por objetivo conducir la corriente de alta tensión al interior de la cámara de combustión y producir la chispa.

Una de las clasificaciones más usadas para las bujías es la de separarlas de acuerdo con su aptitud para disipar el calor

recibido. El índice de esta capacidad autorrefrigerante se denomina grado térmico; como elemento de comparación se toma el tiempo que, en un determinado motor, necesite la bujía para alcanzar desde que esta fría la temperatura de auto encendido. Las bujías de alto grado térmico se llaman bujías frías; las de baja capacidad autorefrigerante, bujías calientes. Vease fig. 3.6.

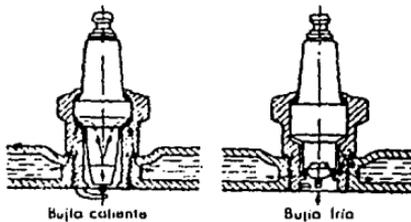


Figura 3.6

Tipos de bujías

La temperatura óptima de funcionamiento de una bujía suele oscilar entre 500 y 600 C. para la parte de la bujía situada en la parte interior del cilindro, por lo que la elección adecuada del tipo de bujía es importante para un buen funcionamiento del motor. Esta depende del tipo de motor, de su relación de compresión, de sus condiciones de funcionamiento del combustible empleado y de la temperatura ambiente.

Una bujía adecuada ha de tener, después de usada, la porcelana aislante de un color castaño en la proximidad del electrodo; si el color es pálido indica que la bujía es demasiado caliente; el color negruzco indica que es excesivamente fría.

Las principales fallas que se presentan en las bujías son el ensuciamiento y sobrecalentamiento de las mismas .

El ensuciamiento suele ocurrir como consecuencia de dos fallas independientes entre sí, la primera de ellas ocurre cuando la

temperatura de los electrodos resulta muy baja (bujía fría); La segunda causa se debe a un mal estado de los anillos del pistón, que origina la presencia de un exceso de aceite en la cámara de combustión teniendo como consecuencia la formación de depósitos carbonosos .

En estas condiciones de trabajo el material aislante se recubre de depósitos carbonosos que causan una disminución en la capacidad aislante originando con esto una dispersión de la energía suministrada por el sistema de encendido. Este tipo de falla origina que en el cilindro solo se de una disminución parcial de la mezcla carburante, siendo emitidos por el escape gran cantidad de hidrocarburos sin quemar además de óxidos de carbono .

En el caso de falla extrema se forma , entre los electrodos, un puente de depósitos carbonosos que ponen en corto circuito la bujía originando una falla total de la misma.

Esto tiene como consecuencia que la cantidad total de hidrocarburos suministrados al cilindro sean emitidos sin quemar.

Una práctica común que se hace cuando la cantidad de aceite que pasa al cilindro es excesivo y se dice que se moja la bujía, no permitiendo la chispa. Es la de poner aumentos a las bujías. Los aumentos no son más que pequeños cilindros con cuerda interior en un extremo (para la bujía) y cuerda exterior en el otro (para fijarse en la cabeza del motor), la longitud de los aumentos es solo la necesaria para que el electrodo quede fuera de la cámara de combustión comunicada a través de un pequeño orificio (en el extremo del aumento).

El uso de aumentos en las bujías repercute notablemente en el incremento de emisiones contaminantes ya que por un lado la combustión de la mezcla carburante es sólo parcial, eliminándose gran cantidad de hidrocarburos sin quemar, y por el otro al pasar cantidades excesivas de aceite al pistón este tampoco se quema siendo emitido también a la atmósfera.

MODIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Como ya se ha dicho las condiciones de funcionamiento en los motores de combustión interna, tienen un efecto significativo en los componentes de los gases de escape; uno de los factores importantes es la relación aire combustible de la mezcla carburante quemada. En figura 3.7 se puede observar la dependencia antes mencionada. De manera general se puede decir que las emisiones de hidrocarburos no quemados y monóxidos de carbono disminuyen al aproximarse la mezcla a las condiciones estequiométricas, ocurriendo un incremento de las emisiones de óxidos de nitrógeno al darse las condiciones antes mencionadas. El incremento de las emisiones de óxidos de nitrógeno se explica si se toma en cuenta que, cuando la relación aire carburante es baja, tanto la cantidad de O_2 disponible, como las temperaturas de la llama son bajas lo que da lugar a una formación mínima de NO .

A medida que la cantidad de aire carburante aumenta también lo hacen la cantidad de O_2 disponible, la temperatura de la llama y las concentraciones de NO . Sin embargo si la relación aire carburante sobrepasa el valor de 16, la temperatura de la llama y por tanto el NO empiezan a disminuir debido al efecto de dilución de la mezcla combustible producido por el exceso de aire.

Debido al efecto opuesto que la relación aire carburante tiene sobre las tres especies, no es posible reducir la contaminación únicamente por modificaciones de la relación aire carburante por lo que la búsqueda de soluciones para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno, CO , HC , se ha enfocado a la implementación de dispositivos que permitan un control simultáneo de los tres componentes, ya que para reducir las emisiones de HC y CO se necesita que el motor funcione con una mezcla pobre mientras que para reducir las emisiones de NO se debe tener una mezcla ó muy rica ó muy pobre. Se han buscado soluciones que permitan tener alguna de las condiciones antes

descritas, sin alterar de manera adversa las emisiones de uno de los componentes .

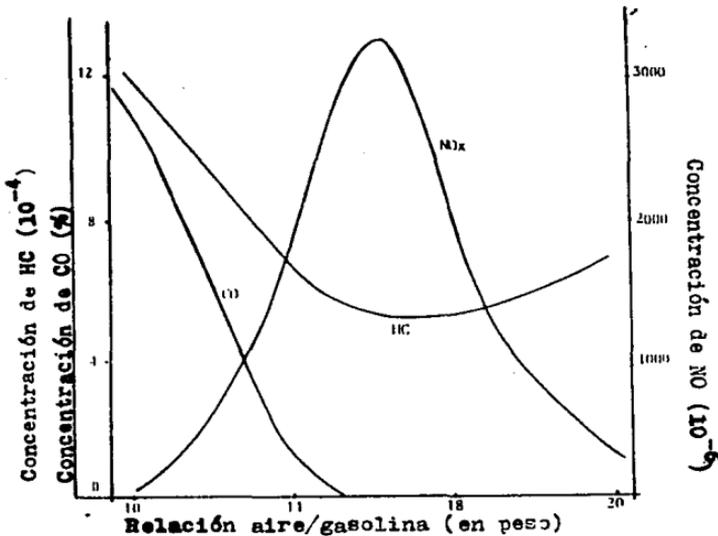


Figura 3.7

Emisión de contaminantes en función de la relación aire/gasolina

Wei, J. (1975)

Uno de los métodos más ventajosos para conseguir un funcionamiento con mezcla pobre es el reciclaje de los gases de escape (RGE). (2)

Este método tiene la ventaja de diluir la mezcla sin añadir O₂ en exceso y además de que la dilución con gases de escape origina la introducción en la carga de especies tales como el CO₂ y el agua cuyas capacidades caloríficas son superiores a las del N₂. En la figura 3.8, se muestran las variaciones en la concentración de NO en función de la relación de equivalencia a diversos niveles de recirculación .

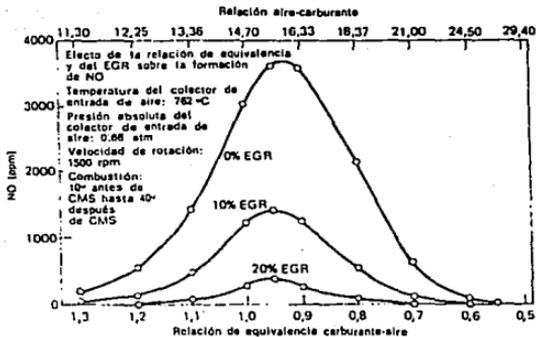


Fig. 3.8 Valores calculados de las concentraciones de NO en los gases de escape en función de la relación de equivalencia carburante-aire para tres velocidades diferentes de recirculación de los gases de escape. (Tomado de: Blumberg y Kummer, 1971.)

Una recirculación de gases de escape superior al 20% produce un aumento en el consumo de combustible, graves problemas de conducción y un aumento en las emisiones de HC y CO . (2)

Existen dos tipos de sistemas de recirculación de gases de escape variable y fijo.

Sistema variable: Este sistema se compone de una válvula y dos pasajes fundidos en el múltiple de admisión . Uno de ellos va desde el pasaje de desviación de calor a una válvula medidora, el otro conduce de la válvula a los agujeros dispuestos en forma central en el múltiple de admisión debajo del carburador. La válvula medidora se mantiene normalmente cerrada por un resorte helicoidal colocado arriba del diafragma de la válvula. El movimiento del diafragma se controla por el nivel de vacío que se inicia en un punto arriba de las placas del acelerador

del carburador. A la velocidad de marcha mínima, el vacío muy débil que existe en el carburador, no puede vencer el empuje del resorte del diafragma y la válvula permanece cerrada, evitando la dilución del combustible y manteniendo con esto un funcionamiento parejo del motor, siendo esto adecuado, ya que en marcha mínima la emisión de óxidos de nitrógeno es mínima no siendo necesaria la dilución de la mezcla aire-combustible.

Figura 3.9

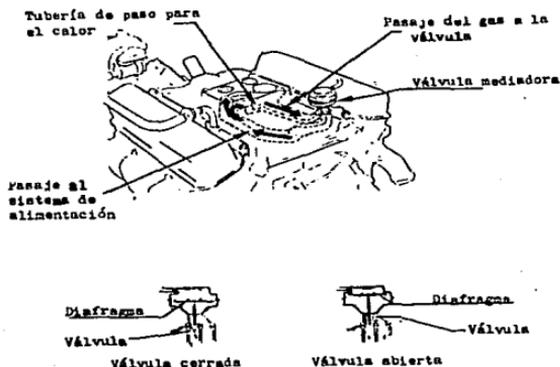


Figura 3.9 Sistema de recirculación de gases (RGE)
(3 , 1977)

Conforme se abre el carburador, la formación de óxidos de nitrógeno aumenta rápidamente; para controlar esta condición, la abertura de las placas del acelerador expone el diafragma de la bomba medidora al vacío aumentado del múltiple de admisión, La válvula se levanta de su asiento y permite que entren al sistema los gases de escape, para limitar la formación de óxidos de nitrógeno.

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE CONTROL

Los convertidores catalíticos:

A principios de la década de los años sesenta se empezó a buscar una solución óptima al problema de la contaminación atmosférica, especialmente para el control de emisiones debidas al proceso de combustión. La solución buscada debería presentar características bien definidas entre las cuales la más importante era la relacionada con la eficiencia, costo, confiabilidad, durabilidad y sobre todo amplios márgenes de funcionamiento. A nivel industrial el control de contaminante gaseosos requería, a menudo, de grandes instalaciones que resultaban costosas y no siempre con la eficiencia deseada.

En el área automotriz el control se basaba principalmente en las condiciones de funcionamiento del motor. Dentro de la industria química los procesos que implicaban el uso de reactores catalíticos eran de uso común, pero, siempre usados para completar y/o acelerar reacciones químicas en alguna parte intermedia de los procesos. Bajo estas condiciones los convertidores catalíticos rara vez eran empleados para completar reacciones de combustión, aunque ya se llevaban a cabo investigaciones para su uso como dispositivo de control para este tipo de emisiones.

La aplicación de los convertidores catalíticos en el control de los contaminantes en motores de combustión interna no es posible sino hasta mediados de la década de los setentas, esto debido a dificultades técnicas, que se tratarán más adelante pero a partir de entonces se ha tenido un desarrollo rápido debido al gran número de investigaciones realizadas en esta área.

Debido a la importancia actual y futura de los convertidores catalíticos se hace necesario un conocimiento más profundo de este tipo de dispositivos, como por ejemplo:

Características de los convertidores catalíticos, que son?

como funcionan?, así como sus aplicaciones posibles, sus limitantes y sobre todo sus posibilidades de aplicación en el parque vehicular de la ciudad de México, por lo que a continuación se hará una breve síntesis de todos los aspectos antes mencionados.

El fenómeno de catálisis, que consiste en una reacción química heterogénea que se acelera mediante un agente externo y en el cual se tiene de manera simultánea fenómenos de transferencia de masa y calor, ha sido estudiado extensamente para su aplicación dentro del área de control de contaminantes, área en la que se ha tenido un éxito notable, no obstante aún queda mucho por investigar.

En la industria automotriz se lleva a cabo el control de las emisiones de escape mediante una combustión catalítica de los mismos, esto con el fin de completar el proceso de combustión y acercarlo lo más posible a las condiciones de proceso ideal. Este proceso en sí consta de varias etapas serie-paralelo y en las que intervienen varias variables a la vez afectando cada una de las etapas. Por lo que el problema fundamental es determinar qué variable afecta cada una de estas etapas y en qué grado; solo de esta manera se pueden cuantificar los efectos de estas variables en el desarrollo de la reacción, en especial en lo que se refiere a sus características cinéticas. Una parte de suma importancia es el elemento catalítico usado en el proceso. Un catalizador se define como un agente químico que altera la velocidad de una reacción pero sin sufrir cambio neto alguno; el agente catalítico no se transforma ni se gasta. Una de las características del proceso de catálisis es la no dependencia de la concentración de los reactantes y la velocidad de reacción. Así también en las reacciones catalíticas se tiene que existe una estrecha relación entre la velocidad de reacción y la temperatura a la cual se lleva a cabo, como también se tiene que si se aumenta el área de la superficie catalítica aumenta proporcionalmente la velocidad de reacción. (7)

En este tipo de reacción el efecto de presión tiene poca importancia en su velocidad ya que el proceso se lleva a cabo mediante un intercambio de materia en la superficie del catalizador. (7)

AGENTES CATALÍTICOS.

Dentro de la inmensidad de materiales que se han ensayado en las investigaciones llevadas a cabo se han encontrado solo unos pocos con las características necesarias para resistir las condiciones de oxidación a las que se ven sometidas al realizarse el proceso de catálisis en los gases producto de la combustión. El agente catalítico varía según sean las sustancias a transformar. En el caso de transformación de gases producto de la combustión se emplean metales nobles tales como el platino, oro, paladio, o rodio y sus aleaciones. (1) Debido a su alto costo las cantidades empleadas son muy pequeñas y se utilizan dispersos en un medio de soporte que también debe reunir características especiales de las cuales a continuación se mencionan las más importantes:

- 1) Alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas.
- 2) Resistencia al choque térmico
- 3) Bajo coeficiente de expansión
- 4) Estabilidad química a altas temperaturas
- 5) Alta relación del coeficiente; Area superficial/unidad de volumen.
- 6) Ser químicamente inertes respecto a los gases a transformar o subproductos de la reacción .
- 7) Bajo peso
- 8) Bajo costo

En cuanto al sistema catalítico completo se requiere, además de los requisitos anteriores de los siguientes:

- A) La caída de presión en el catalizador debe ser pequeña. Esto es considerando que se debe cuidar la máxima eficiencia del ciclo de combustión, las caídas de presión en los catalizadores empleados hasta ahora suelen ser muy bajas ; del orden de 0.2mm de Hg ó menos.
- B) La geometría interna debe ser tal que se ofrezca la mayor area superficial posible, donde se lleve acabo la reacción química de los componentes, en el menor volumen.
- C) Se debe tener una alta eficiencia en el proceso de conversión y mantenerse en un amplio rango de condiciones de trabajo (Gasto másico del gas y temperatura de funcionamiento).
- D) La selectividad química en la reacción debe ser la apropiada para el proceso en que se empleará.
- E) El espacio total debe ser lo más pequeño posible; esto para atender las restricciones de espacio que se deben tener en un vehículo comercial convencional.

TIPOS DE CATALIZADOR (CARACTERÍSTICAS)

En la actualidad se han desarrollado diversos tipos de catalizadores que difieren entre sí en la geometría que representan las estructuras de soporte del elemento catalítico existiendo estos a su vez en varias capacidades de volumen.

La clasificación más general de los diversos tipos de catalizadores es la que los agrupa de acuerdo a las características geométricas y físicas de los materiales que sirven de soporte a los elementos catalíticos. De esta manera se pueden agrupar en tres grandes divisiones, a saber; catalizadores cerámicos con estructura de soporte en forma de celdas , catalizadores cerámicos con estructura de soporte en forma granular (pelets) y catalizadores monolíticos metálicos. Las consecuencias que se derivan de las diferentes estructuras no afectan de gran manera el modo de operación del catalizador aunque sí limitan su capacidad volumétrica y su eficiencia, debido sobre todo a las diferencias en el area superficial

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

sobre las que se realiza la catálisis del gas. (1)

A continuación se hará una breve descripción de los diferentes tipos de catalizadores utilizados actualmente:

CONVERTIDOR CATALITICO CON ESTRUCTURA DE SOPORTE GRANULAR.

En este tipo de convertidor el material de soporte del elemento catalítico está constituido por pequeñas cuentas de material cerámico (Alúmina Al_2O_3) con un diámetro aproximado de 2.54 mm a 3.84 mm y en cuyo sustrato se encuentra distribuido el material catalítico. Uno de los inconvenientes de este tipo de catalizador es la tendencia a la compactación de los granos en el interior del catalizador, ocasionando con esto grandes pérdidas de carga al circular los gases de escape através del catalizador.

Debido a las características mecánicas de los materiales cerámicos es necesario alojar la estructura cerámica dentro de un material que le proteja contra impactos y a su vez le permita la expansión y contracción al calentarse cuando está en operación y al enfriarse cuando no está en operación respectivamente. Generalmente la estructura de soporte del material catalítico y el material de protección consiste de una delgada cubierta metálica, un material aislante térmico y una cubierta de protección para el aislante térmico, así en ese orden. En la figura 3.10 se muestra la disposición general de los elementos del convertidor catalítico con estructura granular.

CATALIZADOR MONOLÍTICO DE CERÁMICA.

Este tipo de catalizador utiliza como material de soporte un material cerámico hecho de corderita y con una estructura de forma alveolar de paredes finas a través de las cuales se hacen pasar los gases de escape.(1)

La configuración de los elementos de protección es similar a los que se tiene en los convertidores con soporte granular, es decir con cubierta de protección, cubierta de aislante térmico y cubierta protectora del aislante térmico. En las figuras 3.11 y 3.12 se muestra la disposición general de este tipo de catalizadores.

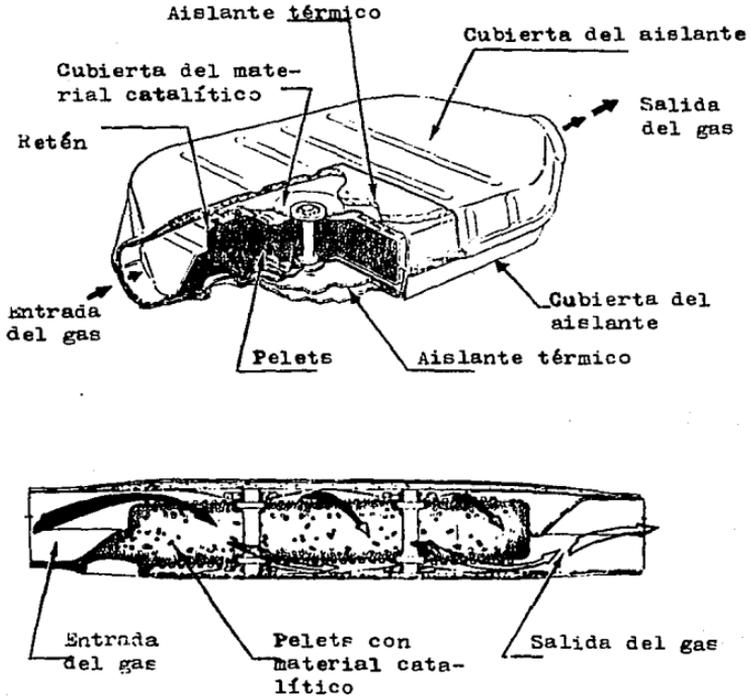


Figura 3.10

Convertidor catalítico con soporte granular

Los catalizadores con estructura monolítica de cerámica se obtienen mediante un proceso de extrusión de la corderita, en estado pastoso, siendo las celdas cuadradas la configuración más usada. La densidad de celdas típica, oscila alrededor de 62 celdas por centímetro cuadrado de área transversal, y un espesor de 0.15mm. pared, entre celda y celda, aproximadamente.

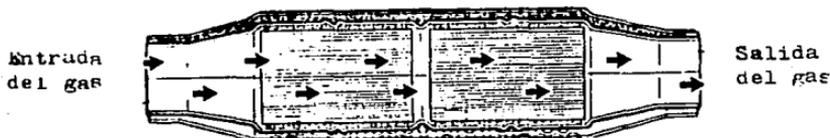
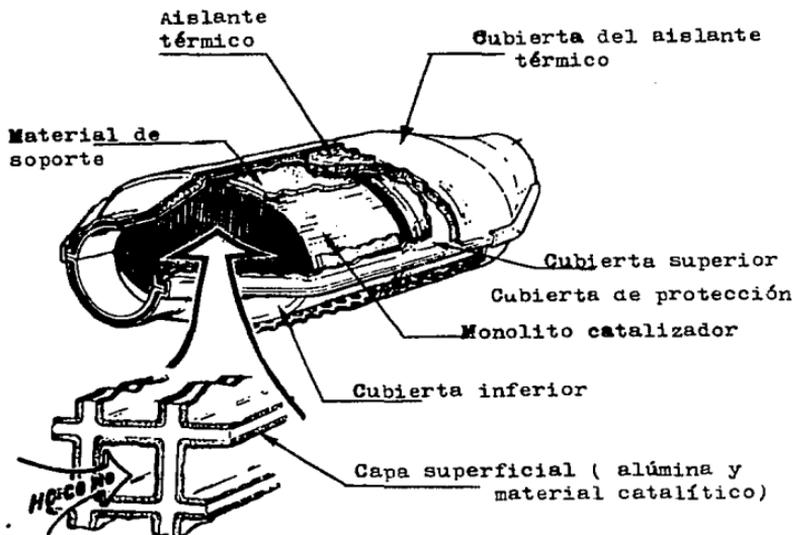
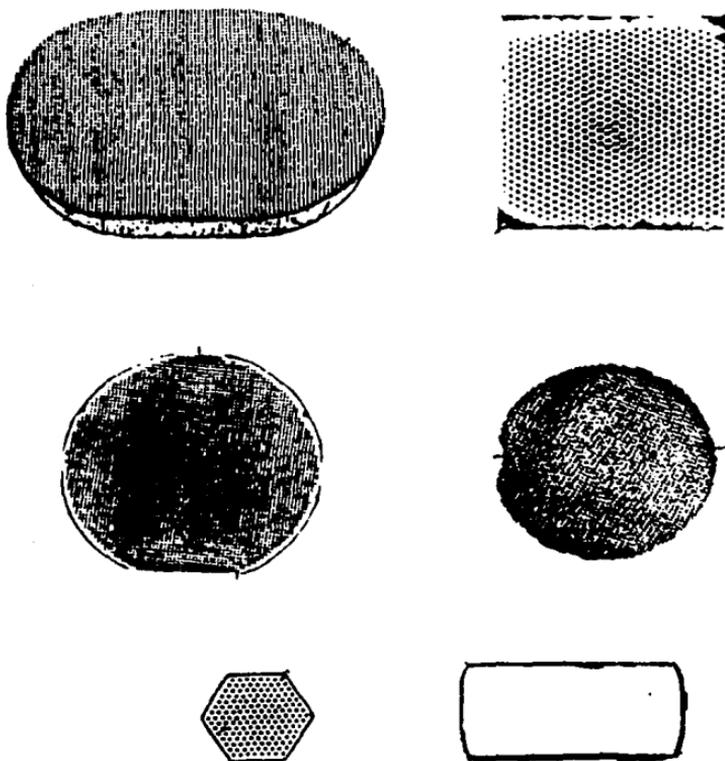


Figura 3.11 Convertidor catalítico con soporte cerámico

**Figura 3.12**

Secciones transversales de paneles de cordierita

Wei, J. (1975)

Los agentes catalíticos (metales nobles) se agregan en la mezcla de cerámica antes de ser extruída o bien pueden agregarse en pasos subsecuentes.

CONVERTIDOR CATALÍTICO CON SOPORTE MONOLÍTICO METÁLICO.

La estructura de este tipo de catalizador es similar a la del catalizador con extracto cerámico. Este sin embargo está constituido por hojas de metal delgadas.

Estas hojas de metal son de dos configuraciones diferentes y se aplican para formar la estructura interna del catalizador. El conjunto de hojas metálicas se mantiene junta por medio de dos retenes metálicos y generalmente llevan una cubierta metálica para proteger la estructura indicada con anterioridad.

Esta cubierta metálica consiste en dos hojas delgadas de metal, una para la parte superior y otra para la parte inferior. El material de aislamiento y protección se aplica de la misma manera que en los dos casos anteriores vistos. En la figura 3.13 se muestra la disposición general de este tipo de catalizador.

Por otra parte este tipo de catalizador presenta características muy especiales en cuanto a la estructura interna. Con la finalidad de lograr un área máxima del catalizador, presenta dos tipos de hojas metálicas como ya se mencionó con anterioridad, teniéndose hojas completamente planas y también hojas con perfil ondulado (vease figura 3.13). El espesor característico de estas hojas es aproximadamente 0.05mm. Las hojas al apliarse alternadamente forman una estructura alveolar cuya densidad de celdas es de 72 celdas por centímetro cuadrado aproximadamente.

Los materiales catalíticos propiamente dichos (metales nobles y metales base) y el medio de soporte alúmina (Al_2O_3), se aplican en ambas caras de cada lámina que forma la estructura de tal manera que se tiene un revestimiento de espesor muy delgado.

Debido a las condiciones del medio en las que operan, los

retenes y las cubiertas de alojamiento generalmente tienen un espesor que varía, según el diseño, entre 1.11mm y 1.45mm, mientras que los retenes suelen tener un espesor aproximado de 1.17mm. La cubierta superior exterior y la cubierta exterior inferior, que es perforada, tienen un espesor que suele ser de 0.43mm a 0.74mm y están hechas de acero aluminizado.

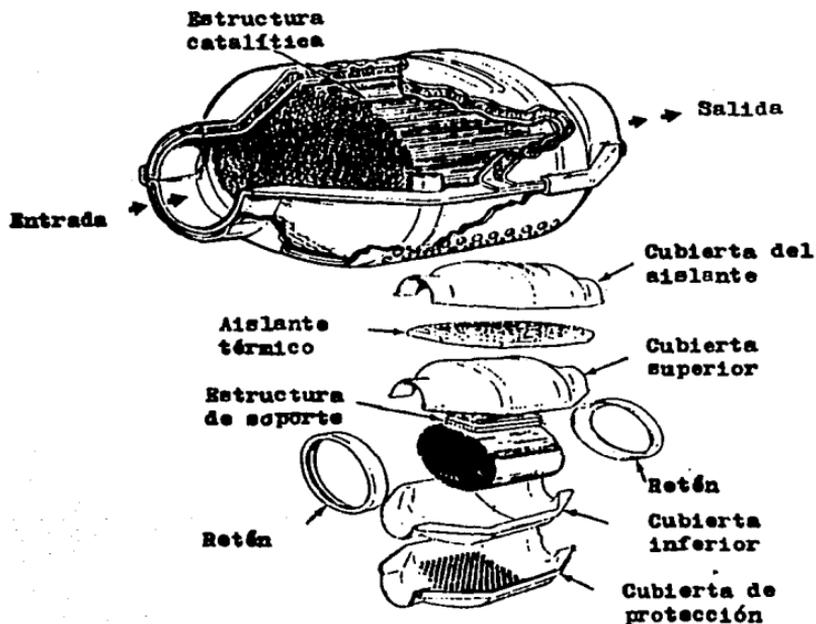


Figura 3.13

Convertidor catalítico de estructura metálica

(G . M . 2)

CLASIFICACION DE VARIOS TIPOS DE CONVERTIDORES CATALITICOS
DE ACUERDO AL TIPO DE SOPORTE. (6)

PROPIEDADES	PELLETS DE ALÚMINA	MONOLÍTICOS DE CERÁMICA	MONOLÍTICOS DE METAL	VIRUTAS METÁLICAS
Eficiencia catalítica	3	3	2	1
Alta área de contacto	2	3	3	2
Resistencia a cambios temp.	2	2	3	3
Resistencia mecánica	2	2	3	2
Baja caída de presión	2	3	3	2
Resistencia al uso	1	2	3	2
Bajo coeficiente de dilatación	3	3	1	1
Buena conductividad calorífica	1	1	3	3
Resistencia a la corrosión	3	3	2	1
Bajo costo	3	2	1	3

Donde: 1.- No es satisfactorio
2.- Aceptable
3.- Muy satisfactorio

MATERIALES Y FUNCIONAMIENTO DE LOS CONVERTIDORES CATALITICOS.

Como ya se ha dicho un convertidor catalítico para control de emisiones en motores de combustión interna se compone de tres elementos básicos que son:

- 1) Material de soporte del elemento catalítico
- 2) Material catalizador
- 3) Material para alojamiento y protección de la estructura catalítica.

Debido a las condiciones del medio en que funcionan, cada una de las partes antes mencionadas es de diferente material, de tal manera que su desempeño sea óptimo.

A continuación se hace una síntesis de los elementos y los materiales más comunmente usados, así como las consideraciones básicas que se tienen que tomar en cuenta al diseñar un sistema catalítico.

Materiales

A) Soporte del material Catalítico

- A.1 Oxido de aluminio (Alúmina Al_2O_3) para catalizadores de estructura granular ó monolítico metálico.
- A.2 Corderita para catalizadores monolíticos cerámicos.
- A.3 Aleaciones acero-cromo-aluminio empleados en los catalizadores con soporte metálico.

- B) Materiales catalíticos
 - B.1 Metales nobles: platino , rodio y paladio.
 - B.2 Metales base: acero y cerio.

- C) Materiales de alojamiento y protección.
 - C.1 Acero inoxidable, usado en: cubiertas exteriores e interiores y retenes.
 - C.2 Material de protección.
 - C.3 Material aislante térmico.

MATERIAL PARA SOPORTE DE ELEMENTO CATALÍTICO.

Debido a las características ya mencionadas con anterioridad, en este capítulo, la alúmina se utiliza ampliamente debido a su porosidad y a su estabilidad a altas temperaturas (punto de fusión 2050 °C) (2) Se ha calculado que en un convertidor monolítico cerámico, del tamaño de un balón de fútbol americano, representa un área superficial de aproximadamente 45000 m². (1) La alúmina en cualquiera de sus fases α , β o γ , presenta una gran cantidad de microporos entre los cristales de alúmina, y de macroporos, entre los aglomerados de cristales. Esta característica es de suma importancia, ya que el volumen potencial de actividad catalítica y la actividad catalítica guardan entre sí una relación de proporcionalidad.

MATERIALES CATALÍTICOS.

Como agentes catalíticos se emplean los denominados metales nobles, platino, paladio, oro, rutenio y además se emplean

también metales base tales como el cobre, níquel, acero, cromo y algunas de sus aleaciones.

La acción catalizadora de ciertos metales tiene un carácter oxidante muy eficaz mientras que de otros metales es preferentemente reductora, existiendo varios metales cuya característica es igualmente favorable; tanto oxidante como reductor. (1)

Los metales más usados en la actualidad, en los procesos de catálisis de gases producto de la combustión, son el platino, paladio, y el rodio. Estos metales se dispersan dentro de los macroporos y los microporos de la alúmina. Además como ya se ha dicho, el empleo de estos metales es indispensable debido a su resistencia a la oxidación. (2)

La cantidad total de metales nobles usados en la fabricación de un catalizador varía entre 2.2 grms. y 3.4 grms.

Por otra parte los metales base también se dispersan dentro de la alúmina, estos metales tienen una doble función; por una parte ayudan a disminuir los esfuerzos de origen térmico, y, por otra parte sirven como un elemento de transición; esto es funcionan como fuentes transitorias de oxígeno durante pequeños periodos de tiempo.

El monóxido de carbono y el oxígeno, pueden ser retenidos sobre el metal base, dependiendo de la relación aire-combustible. Por ahora los materiales base más comunmente usados en los convertidores catalíticos son el cesio y el hierro.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS.

Un convertidor catalítico, tiene como principal objetivo transformar los gases de escape de tal manera que sus características químicas a la salida del catalizador, no sean nocivas para el medio ambiente. (figura 3.14)

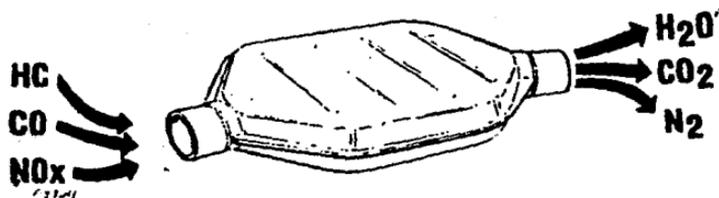


Figura 3.14 Esquema simple del funcionamiento de un convertidor catalítico

Los gases producto de la combustión en un motor, varían en cuanto al número de constituyentes y sus porcentajes relativos, dependiendo del combustible quemado y de las condiciones de operación del motor. De los componentes más comunes se tienen los siguientes:

Hidrocarburos no quemados	HC
Monóxido de carbono	CO
Dióxido de carbono	CO ₂
Oxidos de nitrógeno	NOx
Dióxido de azufre	SO ₂
Oxígeno	O ₂
Nitrógeno	N ₂
Vapor de agua	H ₂ O
Hidrógeno	H ₂

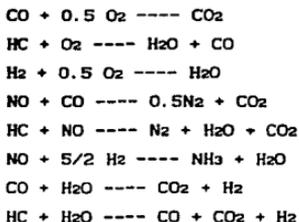
De los cuales los más nocivos por su porcentaje y su reactividad son: el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos no quemados.

Además de los compuestos antes mencionados se tienen también

emisiones de compuestos de fósforo y plomo, provenientes del aceite lubricante y de la gasolina respectivamente.

Mediante el proceso de catálisis el CO, el NOx y los HC, se transforman a CO₂, N₂, y H₂O.

Algunas de las reacciones químicas que se llevan a cabo en el interior del catalizador son las siguientes: (1) y (6).



en donde la cantidad de cada compuesto de salida depende del porcentaje relativo de cada uno de los compuestos a la entrada. El proceso de catálisis se puede esquematizar, de manera muy simplificada, como se muestra en la figura 3.15.

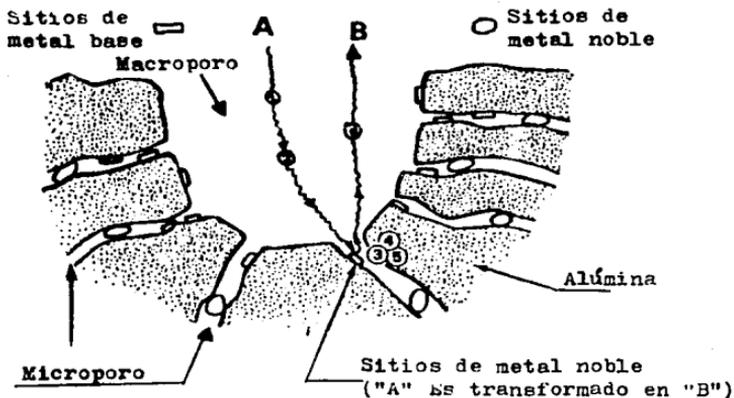


Figura 3.15

Esquema simplificado del proceso de catálisis

- I) Las moléculas de los gases de escape al pasar a través del catalizador se encuentran con una superficie extremadamente porosa del medio de soporte del material catalítico, que las absorbe penetrando en los macroporos de la superficie.
- II) Las moléculas se difunden dentro de la alúmina hasta ser retenidas en los sitios activos de los microporos (lugares donde se tienen partículas de material base) y donde se lleva a cabo la reacción de transformación que hace que la molécula A tome características químicas diferentes transformándose en una molécula B .
- III) La molécula B es liberada por el metal noble y nuevamente mediante el fenómeno de difusión es llevada hasta la superficie del medio de soporte del elemento catalítico.
- Las tendencias actuales en el desarrollo de convertidores catalíticos, han llevado a la implementación de tres sistemas en los cuales se ha tenido mayor éxito. Estos sistemas son: Sistema catalítico oxidante, Sistema catalítico doble y Sistema catalítico trivalente y de los cuales a continuación se hará una breve descripción.

SISTEMA CATALÍTICO DOBLE.

Para el funcionamiento adecuado de este sistema se requiere que el motor funcione con una mezcla rica, de forma que la cantidad de HC, CO y H₂, sea abundante mientras que las emisiones de NO_x sean lo más bajas posibles. En este sistema catalítico se hace uso de dos lechos catalíticos diferentes. En el primer lecho se tiene una atmósfera reductora, es decir la concentración de oxígeno es inferior a la suma de CO y H₂. Como resultado de la atmósfera reductora el NO será reducido a N₂, bien sea por la acción directa con el CO ó bien por una reacción en dos etapas con el hidrógeno, estableciéndose NH₃ como producto intermedio. En la figura 3.16, se muestran las reacciones básicas que se llevan a cabo durante el proceso de catálisis.

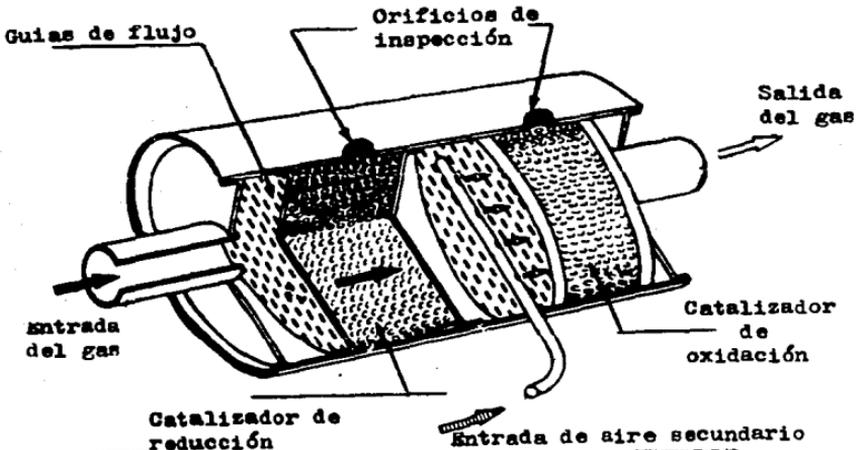
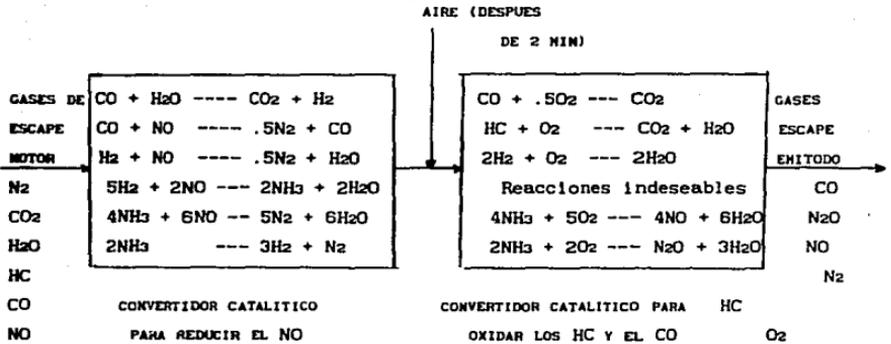


Figura 3.16

Convertidor catalítico de doble lecho
 Jenkins, J (1973)

El hidrógeno proviene no solo de los gases de combustión sino también de la reacción entre CO y H₂O, llamada reacción de desplazamiento agua-gas. (1)

Para completar la oxidación de los hidrocarburos no quemados, así como del monóxido de carbono, se agrega aire al gas de escape antes de que entre el segundo lecho catalítico. Siendo oxidados a CO₂ y H₂O. Sin embargo una cierta cantidad de amoníaco formado en el primer reactor puede ser oxidado y transformado de nuevo a NO.

La formación de amoníaco aumenta en función de los niveles de hidrógeno y de monóxido de carbono. Por lo que por una parte el motor debe quemar una mezcla rica para proporcionar condiciones reductoras en el lecho de NO_x, y por otra parte, una cantidad muy grande de CO y H₂ causara un incremento de la formación de amoníaco (NH₃) y la oxidación subsiguiente del amoníaco a NO. (1)

La concentración óptima de CO y en los gases de escape es de 2% aproximadamente lo que corresponde a relaciones aire carburante entre 13.8 y 14.5. (1),(2)y(6).

En este sistema catalítico los lechos pueden alojarse en recipientes separados ó en uno solo, pero siempre se efectua la inyección de aire en algún punto intermedio entre los dos lechos. (vease figura 3.16).

SISTEMA CATALÍTICO DE TRES VIAS.

El convertidor catalítico de tres vías es un sistema catalítico único capaz de favorecer simultáneamente la oxidación de CO y HC y la reducción de NO_x, transformándolos a CO₂, H₂O y N₂ respectivamente. Como condición necesaria para el buen funcionamiento de este tipo de catalizadores, se tiene que cumplir que la mezcla carburante que se quema en el motor debe

aproximarse a la mezcla estequiométrica o sea 14.6 a 1 en la relación aire combustible. Si se desean transformar los 3 componentes principales CO, NOx y HC de manera simultánea, mediante un catalizador de tres vías, se ha encontrado que la máxima desviación de las condiciones estequiométricas debe ser de ± 0.3 (A/C) ya que la eficiencia de los convertidores baja rápidamente si existe una desviación mayor. (1),(2) y (6)

En las Fig. 3.17 se pueden observar los efectos de la relación aire-combustible en las emisiones de escape y la variación de la eficiencia de un catalizador de tres vías con respecto a las condiciones de la mezcla quemada.

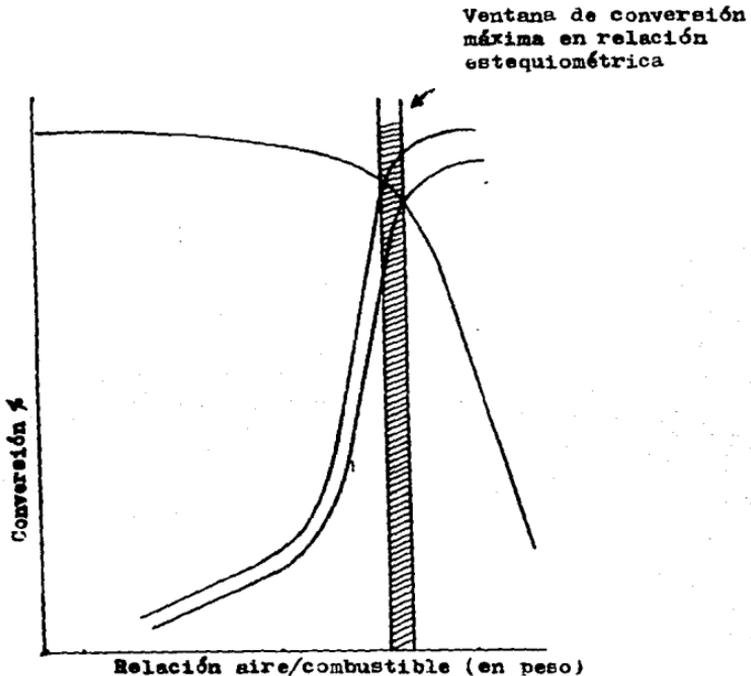


Figura 3.17

Actividad catalítica en función
de la relación aire-carburante

SISTEMA CATALÍTICO OXIDANTE.

Este sistema opera con una relación aire carburante rica, aproximadamente 16 a 1. Los elementos catalíticos comunmente empleados para este tipo de catalizador son: el platino y el paladio. (1) Los hidrocarburos no quemados y el CO provenientes de los gases de escape se oxidan en el lecho catalítico mientras que los óxidos de nitrógeno se controlan mediante técnicas de recirculación de gases de escape (RGE) (1)

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

El funcionamiento adecuado de los catalizadores esta condicionado a varios factores que influyen en el comportamiento de estos. Algunos de los factores, son los siguientes:

a) La relación aire-combustible quemado por el motor.

Esta relación se debe mantener lo más cerca posible a la relación estequiométrica (14.6 A/C) no debiéndose tener desviaciones de más de 0.3 (A/C), ya sea con exceso o falta de aire.

Las mezclas ricas ocasionan que en el interior del catalizador se generen temperaturas mas elevadas como consecuencia de una excesiva actividad catalítica.

b) La temperatura del funcionamiento del catalizador.

Este aspecto es muy importante ya que afecta de manera directa a la eficiencia de conversión de los elementos contaminantes. Por ejemplo: se ha encontrado que la eficiencia de conversión de los hidrocarburos se incrementa con la temperatura mientras que la de los óxidos de nitrógeno

es máxima cuando se tienen temperaturas alrededor de 450 °C.
(5)

La temperatura óptima de funcionamiento de los convertidores se encuentra alrededor de los 500 C. El funcionamiento del catalizador a esta temperatura permite que la conversión de los tres elementos (HC, NOx, CO) sea máxima de manera simultánea. No obstante lo anterior, se mantiene un rango de funcionamiento que va de 375 C a 600 C, rango en el que se logra una buena actividad catalítica y además, se tiene una mayor durabilidad del catalizador. (2)

Cuando las temperaturas son menores que a 375 C se tienen, en el interior del catalizador, una cantidad grande de contaminantes sin quemar, originando depósitos sobre la superficie catalítica, ocasionando con ello una pérdida de actividad catalítica.

Cuando se tienen temperaturas de 600 a 800 C en el interior del catalizador ocurren fenómenos adversos como por ejemplo: el sinterizado de los metales nobles ó la formación de aleaciones entre ellos y que disminuyen la eficiencia de conversión. (6)

c) Disminución de la actividad catalítica por envenenamiento.

Se denomina envenenamiento a la contaminación del catalizador por elementos que reducen la actividad catalítica en la superficie de los catalizadores.

Los elementos contaminantes son varios, y se les clasifica en permanentes y no permanentes, dependiendo de la posibilidad de ser eliminados mediante métodos de recuperación.

Dentro de los contaminantes más comunes se tienen los siguientes:

PLOMO: la fuente principal de plomo es la gasolina usada como combustible. Los compuestos de plomo presentes en la gasolina son: el tetraetilo de plomo $Pb(CH_3-CH_2)_4$ y el tetrametilo de

plomo $Pb(CH_3)_4$, al ser sometidos a altas temperaturas y presiones elevadas, en el interior de los cilindros se descomponen y se combinan con otros compuestos presentes tales como el bromuro de etileno y el cloruro de etileno, formados por golpeteo durante el proceso de combustión, formando mezclas de haluros y óxidos de plomo cuyos puntos de ebullición se encuentran arriba de los 900 C. (6)

Los componentes principales que se forman son óxidos de plomo (PbO), fosfato de plomo $Pb_3(PO_4)_2$, oxisulfato de plomo $PbSO_4-PbO$, dicloruro de plomo $PbCl_2$ y dibromuro de plomo $PbBr_2$ cuya existencia depende de las condiciones de la temperatura en el interior del sistema. (6)

Estos compuestos pueden retenerse en el motor (formando parte de los depósitos carbonosos), en los gases de escape, ya sea en forma de gas ó partícula de tamaño reducido (0.3 a 10μ) de diámetro, las cuales se depositan sobre la superficie interna de los catalizadores bloqueando el paso de los gases hacia los elementos activos del catalizador. (1)

El plomo es un agente contaminante de carácter permanente que afecta de manera importante la actividad catalítica de los convertidores.

Como ya se ha dicho anteriormente los contenidos de plomo, para evitar el envenenamiento por plomo del catalizador, no debe ser mayor de 0.005ml/galón. (1),(2),(6)

FOSFORO: es un componente común de los aceites lubricantes usados en los motores de combustión interna, también se encuentra, aunque en menor proporción, en las gasolinas. Este elemento se usa por sus propiedades de detergencia pero, por desgracia, resulta ser un veneno permanente para los catalizadores en los cuales llega a reaccionar con la alumina formando fósforo de aluminio y desactivando el catalizador. El contenido máximo de fósforo en las gasolinas debe ser de 0.01g/galón, para proteger a los catalizadores contra este elemento. (6)

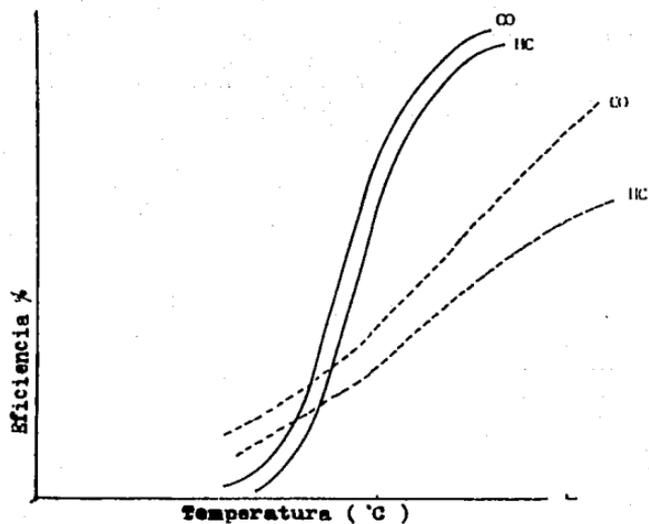
Dentro de los venenos no permanentes se puede mencionar a los haluros de alquilo, que se encuentran presentes en los aditivos de la gasolina.

Estos venenos se eliminan en pocas horas y no afectan mucho el funcionamiento del catalizador pero al combinarse con el plomo forman halogenuros de plomo que son un veneno más activo que los óxidos de plomo.

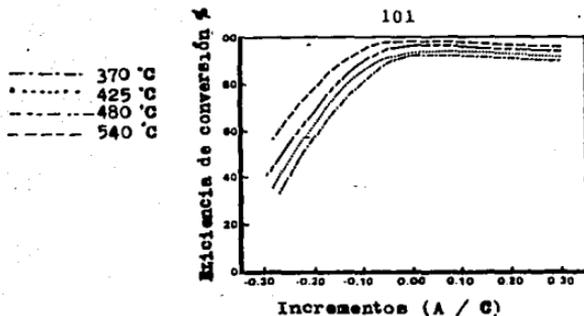
ENVEJECIMIENTO DE LOS CATALIZADORES

El envejecimiento involucra la desactivación por causas físicas y no químicas. Este es un problema muy serio que surge durante el funcionamiento de los catalizadores. Los factores más importantes en este proceso son la temperatura y la variación de las condiciones térmicas que en un catalizador son de carácter cíclico, la vibración mecánica a la que se somete el catalizador, la presencia de vapor de agua y las condiciones oxidantes y reductoras. Estos factores influyen decisivamente en el desgaste prematuro de los catalizadores. Este desgaste se puede cuantificar por las pérdidas de material de soporte activo por fenómenos de sinterización y atricción, la volatilización de los componentes activos al reaccionar con los gases y la destrucción del soporte por la erosión de los gases.

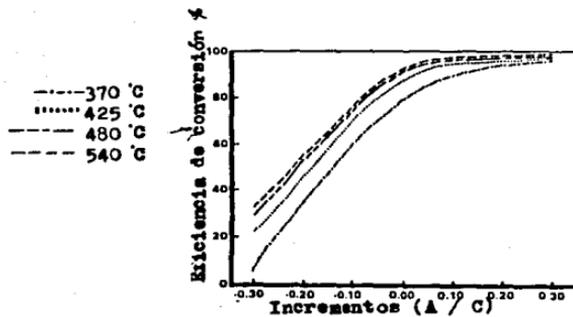
En las gráficas (fig.3.18) se pueden apreciar la rapidez de envejecimiento a diferentes temperaturas y su consecuencia en la eficiencia de conversión y un diagrama comparativo de eficiencias entre un convertidor catalítico con metales nobles y un convertidor con metales de transición.

**Figura 3.18**

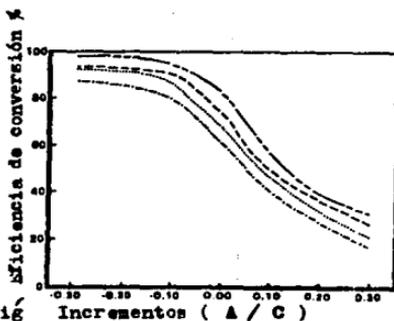
Comparación de los rangos de temperatura requeridos para la conversión de contaminantes en convertidores catalíticos con metales nobles y convertidores con metales de transición



Eficiencia de conversión de HC para varias temperaturas



Eficiencia de conversión de CO para varias temperaturas



Eficiencia de conversión de NOx para varias temperaturas

SISTEMAS CATALÍTICOS ALTERNATIVOS

Debido a los costos elevados de los metales nobles (Platino, Paladio, Rodio, Rutenio), se han buscado elementos catalíticos alternativos. El bajo costo, por un lado, y la relativa abundancia de los metales de transición, por otro lado, han hecho que la búsqueda de materiales alternativos se centre en el uso de metales como el Cobre, Cromo, Manganeseo, Fierro, Cobalto, Molibdeno y Niquel. Algunos de ellos presentan características reductoras y otros presentan características oxidantes existiendo algunos (Cu, Ni, V) que presentan ambas características químicas.

Dentro de este tipo de catalizadores se tienen dos tendencias, una en la que el material catalítico es a su vez, la estructura interna del catalizador. Y otra en la que el material catalítico, al igual que en los catalizadores a base de metales nobles, esta soportado por una estructura de tipo cerámico.

En el primer tipo de catalizador se utilizan estructuras de hierro ó acero que sean oxidantes y presentan buena actividad para la oxidación de HC y CO, pero no catalizan la reducción de NOx, utilizándose para la reducción del NOx aleaciones de Cobre y Niquel.

Estos convertidores alcanzan su máxima eficiencia a altas temperaturas, a 800 C se tienen eficiencias del orden del 80%, por lo que se les conoce como catalizadores de alta temperatura.

El principal problema que se tiene para el uso de este tipo de catalizadores es la imposibilidad de alcanzar altas temperaturas en todas las condiciones de manejo sin afectar la economía del motor, además estos catalizadores sufren deterioro continuo por los ciclos de atmosferas oscilantes y reductoras, con la consecuente pérdida de actividad catalitica.

En los catalizadores a base de metales de transición y con soporte cerámico se hace uso para su fabricación de sales de metales de transición como por ejemplo:

Para Oxidación		Para reducción	
De CO	De HC	De NOx	De SOx
CuO	CuAlO ₃	NaAl ₂ O ₃	CuV ₂ O ₅
CuCr ₂ O ₄	CuCr ₂ O ₄	CuAl ₂ O ₃	WOTiO ₂
CuCr ₂ O ₃	CuFe ₂ O ₄	V ₂ O ₅	CuAl ₂ O ₃
Cr ₂ O ₃	FeCr ₂ O ₄	SnV ₂ O ₅	CuAl ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃	FeAl ₂ O ₄		

Las cuales en forma de soluciones acuosas se impregnan en la superficie de soporte y calcinados a 500 C aproximadamente, durante 4 horas obteniéndose áreas superficiales cubiertas con este material. Al finalizar el proceso el porcentaje en peso del metal soportado es del 2 al 10%.

Pero aunque las combinaciones posibles son muchas, no es fácil producir soluciones estables ya que muchas veces flocculan, en forma de geles ó producen catalizadores que al calcinarse se sinterizan; por lo que pese a la gran cantidad de combinaciones posibles, pocas son útiles para la producción de un catalizador con alta eficiencia.

En general los catalizadores con metales de transición requieren de mayores temperaturas que los hechos con metales nobles, para ofrecer una buena eficiencia de conversión. Al efectuar combinaciones de metales tambien se puede mejorar la estabilidad térmica; por ejemplo un catalizador de CuO pierde actividad en poco tiempo a temperaturas de 300°C, mientras que cuando se combina con V₂O₃ su estabilidad se incrementa y no hay pérdida de actividad aún a temperaturas mayores de 600°C. Este tipo de catalizadores posee la misma facilidad que los hechos a base de metales nobles, para la oxidación de hidrocarburos, siendo el metano el hidrocarburo más fácil de

oxidar.

En el caso de la reducción del NOx la combinación de metales resulta efectiva, por ejemplo el óxido de cobre solo tiene una leve actividad para reducción de NOx, mientras que si se combina con óxido de cromo se incrementa la actividad a temperaturas entre 300 y 450 °C sin perder actividad en la oxidación de hidrocarburos y monóxido de carbono; así mismo la adición de óxido de cobalto incrementa aún más la actividad.

Se ha encontrado que para que este tipo de catalizador tenga una eficiencia de al menos el 80% se requieren mezclas carburantes ricas, de tal manera que se tengan relaciones de CO/O entre 1.5 y 5 . A temperaturas entre 400 y 600°C se logra una mayor selectividad para la obtención de N en lugar de NH proporcionalmente a la temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1.- Anónimo "Manual sobre convertidores catalíticos"
General Motors Co.
(1988)
- 2.- Seinfeld H. John "Contaminación Atmosférica: Fundamentos
físicos y químicos"
(1976)
- 3.- J.M. Marchello "Control of air pollution source."
(1977)
- 4.- J.W. Kress, N.C. Otto, M. Bettman
"Emission control from stationary power sources."
(1980)
- 5.- Randolph Dan "Uso de catalizadores en motores de
combustión interna" Trabajo Doctorado
(1989)
- 6.- Mujica Álvarez Violeta "Desarrollo de un catalizador
para el control de emisiones vehiculares. (TESIS)
(1988)
- 7.- Doctor Dante Giacosa "Motores endotérmicos"
(1976)

CAPITULO 4. LA EVALUACION DE EMISIONES VEHICULARES.

Los gobiernos de muchas naciones han emitido leyes y reglamentos en el marco de programas de protección ambiental para lograr una reducción de los daños causados por las emisiones vehiculares .

Dependiendo de las circunstancias de cada país se han fijado valores límites de emisiones, procedimientos de prueba, homologaciones de nuevos modelos, verificaciones de vehículos usados y otras regulaciones para controlar la calidad del aire. Hasta la fecha se han diseñado y aplicado los siguientes procedimientos de prueba para la homologación de nuevos modelos de vehículos.

- 1.- California test (CT)
- 2.- CVS-US-TEST 72(US-72)
- 3.- CVS-US-TEST 75(US-75)
- 4.- Test de manejo Europeo (ET)
- 5.- Test japones corto/4 modos (JST)
- 6.- Test japones CVS/10 modos , arranque en caliente (JCH)
- 7.- Test japones CVS/11 modos , arranque en frío (JCC)

Adicionalmente existen procedimientos especiales para la evaluación de emisiones de la tapa de punterías en ralentí, de pérdidas evaporativas de combustible, así como mediciones breves para la verificación de la producción en serie de automóviles nuevos ó supervisión de automóviles usados .

En general los procedimientos empleados por los diferentes países se basan en los mismos principios físicos (mismos que se explican en el cap 5), aunque por las diferentes formas en que se conducen las pruebas no se puede hacer una correlación de los resultados obtenidos .

Es por eso que en esta tesis se expondrán en forma muy breve los procedimientos más usados en el mundo y entrará en detalle con las pruebas aplicadas en México.

Las leyes mexicanas obligan a cumplir con los siguientes

puntos, en lo que respecta a emisiones gaseosas :

1.- HOMOLOGACION DE MODELOS NUEVOS (NORMA NOM-AA-80) (1)

- a) Deben cumplir con el nivel máximo permitido de los siguientes contaminantes

AÑO-MODELO DEL VEHICULO	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES. g/km		
	HC	CO	NOx
1989	2.00	22.00	2.30
1990	1.80	18.00	2.00
1991-92	0.70	7.00	1.40
1993 en adelante	0.25	2.11	0.62

Figura 4.1 (2)

El procedimiento de evaluación para los valores máximos mencionados es el llamado FTP-75 (Federal Test Procedure 75) que se explica más adelante

- b) Deben tener una ventilación positiva del carter, esto es los gases que escapan de los cilindros al carter deben ser recirculados y vueltos a quemar .

2.-VEHICULOS USADOS Y NUEVOS. (NORMA TECNICA ECOLOGICA CCAM-001) (2)

Se deben llevar anualmente a inspección los automóviles para

verificar que cumplan con los siguientes valores de emisiones.

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION.

Diario oficial de la federación, 6 de junio de 1988.

AÑO MODELO	MONOXIDO DE CARBONO (CO) % EN VOLUMEN	HIDROCARBUROS (HC) p. p. m.
1979 y anteriores	6.0	700
1980-1986	4.0	500
1987 y posteriores	3.0	400

Figura 4.2

3.- CONSUMO DE COMBUSTIBLE. (NOM-D-150/81) (3)

En los vehiculos nuevos debe aparecer a la vista el consumo de combustible calculado a partir de los resultados de emisiones en ciclos representativos del manejo en ciudad y carretera. Este cálculo se basa en un balance de átomos de carbono (carbono contenido en la gasolina contra carbono encontrado en las emisiones). Se explicará más adelante la forma en que se obtiene el consumo de combustible.

EL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA FTP - 75 (4)

Las pruebas vehiculares se han desarrollado desde una simple medición de hidrocarburos y monóxido de carbono en condiciones de operación estacionarias del motor hasta el complejo FTP-75 . Con este último ciclo de pruebas se pretende simular en forma muy cercana a la realidad las condiciones a las que está sometido un automotor en tránsito normal.

Dicha prueba permite conocer en forma muy realista la cantidad de contaminantes que por kilometro de recorrido despiden un automóvil .

El procedimiento de prueba parte de un arranque en frío y contiene una serie no cíclica de estados de marcha en vacío, de aceleración, de velocidad constante, de deceleración, que se deben realizar sobre un dinamómetro de chasis equipado con masas inerciales y de una unidad de absorción de potencia que simule la carga del camino que experimenta normalmente el automóvil.

Se ha dividido la prueba en diferentes fases , cada una de las cuales se pondera en forma diferente. Con ello se pretenden simular las condiciones de manejo.

La prueba FTP-75 consta nominalmente de cinco fases, aunque solo se corran 4 de ellas

- 1.- Transición de arranque en frío (Cold transient)
 - 2.- Estabilización de arranque en frío (Cold stabilized)
 - 3.- Fase de estacionamiento , pausa
 - 4.- Arranque en caliente , fase de transición (Hot transient)
 - 5.- Arranque en caliente , estabilización (hot stabilized).
- (la fase 5 solo se evalúa en forma matemática , tomando los valores de la fase 2).

La primer fase se inicia con un arranque en frío (el automóvil debe estar sin arrancar durante un periodo de 8 a 12 horas) y dura 505 segundos . Inmediatamente comienza la segunda fase que

termina a los 1372 segundos de iniciada la prueba. Después de la fase de estacionamiento de 10 minutos sigue la fase de transición en caliente de 505 segundos de duración. No se realizan los 867 segundos de la fase estabilizada en caliente porque se supone que las emisiones de esta fase coinciden con las emisiones de la fase de estabilización en frío.

Todo el gas de escape expulsado por el automóvil durante la prueba - incluyendo las emisiones de arranque y fenómenos de postignición - se diluyen y se mezclan en un dispositivo adecuado con un volumen determinado de aire ambiental. Una parte de esta mezcla de gas de escape y aire, así como una muestra de aire ambiental se colectan continuamente durante la prueba en bolsas especiales (Tedlar)

La prueba dura en total 41 min 17 seg, de los cuales 31 min 17 seg son de manejo.

DESARROLLO DE LA PRUEBA FTP-75 (4) y (5)

a)-Acondicionamiento:

Antes de comenzar la prueba, el vehículo debió de estar parado durante 12 horas, a una temperatura ambiente de 25 C, y protegido de la lluvia; si en la prueba no se hacen mediciones de evaporación, entonces se permite un rango de temperaturas de $23 \pm 7^{\circ}\text{C}$.

El automóvil de prueba se debe empujar sin arrancar el motor hasta el dinamómetro de chasis. Para evitar una distribución anormal del combustible debe quedar en forma horizontal sobre el dinamómetro. Si los rodillos del dinamómetro tienen un diámetro menor de 50 cm se deberán inflar las llantas motrices a 3.2 bar para evitar daños a dichas llantas.

La prueba se realiza con el cofre abierto, se utiliza un ventilador con capacidad menor de $9000 \text{ m}^3/\text{h}$ para enfriar el motor. Este ventilador se debe colocar a una distancia de 20 a 30 cm del radiador en coches con el motor adelante; Si el motor esta atrás, ó no es práctico colocar el ventilador según lo especificado, entonces se debe situar el soplador de tal

manera que se obtenga un enfriamiento adecuado.

El equipo de muestra debe encenderse con suficiente tiempo antes de iniciar la prueba para que alcance su temperatura normal de operación. Las bombas de muestreo deben estar trabajando para que se calienten y se puedan ajustar los flujos de muestreo.

Se conectan al (los) escape(s) del automóvil tubos con sellos herméticos para coleccionar todos los gases de emisión.

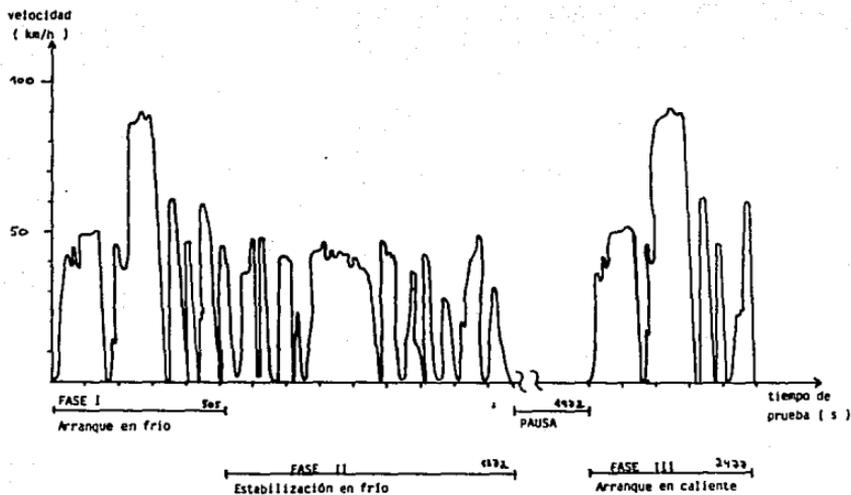
En el momento de arrancar el vehículo se acciona el llenador de una bolsa de prueba con aire ambiental. El volumen que pasa por la bomba de desplazamiento positivo ó por el venturi de flujo crítico (ver apartado "CVS") se comienza a medir. Después de transcurridos 505 seg se interrumpe la primera fase y se comienza con el llenado del segundo par de bolsas. Igualmente se mide el flujo de gas transportado durante la segunda fase. 2 seg después de la última deceleración de este ciclo se debe apagar el motor, 5 seg después de apagado el motor (para incluir fenómenos de post ignición) se interrumpe la toma de la muestra.

Durante la pausa de 10 min se debe separar el escape del automóvil y el equipo CVS, se debe apagar el ventilador y cerrar el cofre del vehículo. Se debe preparar el vehículo de nuevo para proseguir a tiempo la prueba. Al iniciar el último ciclo se muestrea gas contaminante diluido y aire ambiental en el último par de bolsas. Cuando finaliza el ciclo de manejo, se interrumpe el muestreo.

El análisis de los gases confinados en las bolsas se debe hacer - de ser posible- al finalizar cada fase, en ningún caso deben pasar más de 20 min entre el fin de una fase y el análisis respectivo.

REGLAMENTO GENERAL PARA EL CICLO DE MANEJO FTP-75

El ciclo de manejo se encuentre especificado en forma de una velocidad dada para cada segundo de la prueba (ver esquema 4.3).


Figura 4.3
Curva de manejo FTP-75

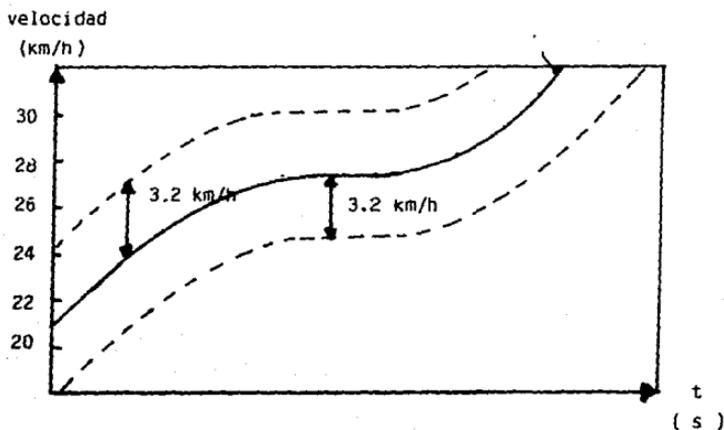
Para este ciclo de manejo se permiten las siguientes tolerancias:

Para la indicación de tiempo ± 1 s (4)

Para la indicación de velocidad ± 3.2 km/h

Variaciones mayores, por ejemplo las que se causan al cambiar velocidades, se permiten siempre y cuando no tengan una duración mayor a 2 segundos. Igualmente se aceptan velocidades menores a la especificada siempre y cuando se conduzca el automóvil en carga plena durante estos periodos.

Se debe llevar un diagrama velocidad-tiempo para poderlo mostrar a las autoridades y darle así validez a la prueba.

**Figura 4.4**

Tolerancia para curva de manejo FTP-75

PROTOCOLO DE PRUEBA

Para cada prueba se deben registrar los siguientes puntos:

Número de prueba
Banco de prueba
Fecha y hora
Operario de analizadores
Conductor

Datos del automóvil: fabricante, número de vehículo, modelo, caja de velocidades, transmisión, lectura de odómetro, cilindrada, familia del motor, revoluciones en vacío, sistema de combustible, masa inercial, peso en vacío, presión de aire en las ruedas motrices, absorción de potencia en el dinamómetro a 50 mph.

Se debe llevar una bitácora con información sobre todos los analizadores, así como el número de fabricación, rango de medición, datos de calibración. Además se deben hacer gráficas de:

Ajuste de cero y de rango de cada analizador, presión de aire, humedad y temperatura dentro del cuarto de pruebas.

USO DE LA CAJA DE VELOCIDADES (4)

Los cambios de velocidades se deben realizar lo más rápidamente posible y manteniendo el acelerador totalmente libre. Se recomiendan los siguientes puntos de conmutación:

- a) De primera a segunda velocidad a 24km/h
- b) De segunda a tercera velocidad a 40km/h
- c) De tercera a cuarta velocidad a 64km/h

Se puede utilizar otros puntos de conmutación así como la quinta velocidad siempre y cuando se especifiquen por el fabricante del automóvil en el manual del usuario.

Los vehículos con transmisión automática deberán operarse

siempre en DRIVE y con el OVERDRIVE desconectado.

OTRAS NORMAS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA

ARRANQUE DEL MOTOR:

Los motores con estrangulador (CHOKE) automático y aquellos con estrangulador manual se deben arrancar tal como lo especifica el fabricante.

En caso de que el motor no arranque después de 10seg de intentos, se debe interrumpir la prueba y buscar el motivo de la falla. Durante estas acciones se debe desconectar el medidor de volumen y las electro-válvulas que inician el muestreo. Si la falla en el arranque se debió a la mala operación del conductor, entonces el automóvil se debe acondicionar nuevamente para un arranque en frío. Si en cambio la falla es imputable al motor se debe tratar de solucionar en 30min. y continuar con la prueba. Si después de 30min. no se soluciona la falla se aborta la prueba.

Si el motor se para durante una fase de marcha en vacío, se debe arrancar inmediatamente y se debe continuar con la prueba. Si el motor no arranca antes de una fase de aceleración se debe detener la prueba hasta lograr que el motor funcione.

ACELERACIONES

Se deben realizar lo mas suavemente posible. si la aceleración que indica la curva de manejo es superior a la que puede llevar el coche, entonces se debe conducir con la mariposa totalmente abierta hasta que se alcance la velocidad indicada por la curva de manejo.

DECELERACIONES

Todas la deceleraciones se deben realizar con la velocidad especificada y con el motor embragado.

Si es necesario se deberán operar los frenos del automóvil. No

se permite un cambio de velocidades, pero si la velocidad es menor de 24km/h ó si el motor comienza a operar irregularmente entonces se debe desembragar.

CÁLCULO DE LAS EMISIONES APARTIR DE DATOS ANALÍTICOS (5)

Los resultados finales de la prueba US-75 se obtienen a partir de la ponderación de los resultados de cada fase

$$m_i = 0.43 \frac{m_{ict} + m_{ie}}{S_{ict} + S_{ie}} + 0.57 \frac{m_{imt} + m_{is}}{S_{imt} + S_{is}}$$

donde

m_i = Masa de la sustancia i [g/km]

m_{ict} = Masa de la sustancia i emitida en la fase de arranque en frío

m_{imt} = Masa de la sustancia i emitida durante la fase de arranque en caliente

m_{is} = Masa de la sustancia i emitida durante la fase de estabilización .

S_{ict}, S_{imt}, S_{is} = Distancias recorridas durante las tres fases de las pruebas respectivas [km].

Las masas de contaminantes emitidas durante cada fase se calculan apartir de la siguiente ecuación:

$$m_{ij} = C_{ijk} \cdot \rho_i \cdot v_{jk} \cdot K$$

donde

m_{ij} = Masa de la sustancia i durante la fase j

C_{ijk} = Concentración corregida de la sustancia i durante la fase j (La corrección se explica más adelante)

ρ_i = Densidad de la sustancia

v_{jk} = Volumen total de la mezcla de aire ambiente y gases de escape [dm³] que circuló durante la fase j . Este volumen debe corregirse a las condiciones normalizadas.

K=Factor de corrección por humedad durante la fase J
 Válido solamente para el contaminante NO_x
 CORRECCIONES PARA LOS VALORES DE CONCENTRACIÓN

Esta corrección permite hacer un ajuste adecuado a las lecturas de concentración de muestra, pues una parte de los contaminantes que se miden ya estaba flotando en el aire que se usó para diluir los gases crudos del escape. Obviamente no fueron generados por el automóvil en prueba y no se les debe incluir en la evaluación de resultados. Adicionalmente se realiza otra corrección - en casos de CO- que depende de la forma en que se determina su concentración en la muestra de gas.

El principio de medición generalmente usado para determinar la concentración de CO es el de absorción infrarroja no dispersiva y este método analítico no logra discriminar totalmente la presencia de gas CO₂ cuando se desea medir CO.

a) Para Hidrocarburos, óxidos nitrosos y dióxido de carbono

$$C_{ijk} = C_{ijm} - C_{ija} * (1 - F_{vj})$$

donde

C_{ijk} = Concentración corregida de la sustancia i en la fase J.

C_{ijm} = Es el valor medido de la concentración en la sustancia i en la fase j en la muestra diluida.

C_{ija} = ES el valor medido de la concentración de la sustancia i en la fase j en el aire de dilución.

F_{vj} = Es el factor de dilución para la fase j, se le calcula de la siguiente manera:

$$F_j = \frac{C_{CO2j} + (C_{HCj} C_{COjk}) * 10^{-1}}{13.4}$$

donde

C_{CO2j} = Concentración de CO en fase J (% de Volumen)

C_{HCj} = " " HC " (ppm)

C_{COj} =Concentración corregida de CO en fase J (ppm)

El programa de cómputo para evaluar estas fórmulas, así como un ejemplo numérico se presentan en el capítulo 5 bajo el rubro de equipo de cómputo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CAPÍTULO 4

- 1.- Normas oficiales mexicanas SECOFI
NOM-AA-1980
Norma oficial para verificación de emisiones gaseosas
SECOFI 1980.
- 2.- Diario Oficial de la Federación
6 de Junio de 1988
Norma técnica ecológica CCAM-001
- 3.- Normas oficiales mexicanas SECOFI
NOM-D-150/81
Norma oficial para determinación de consumo de combustible
SECOFI 1981
- 4.- Hausschulz G. et al. "Emissions- und
Immissionsmesstechnik im Verkehrswesen
Köln, Verlag TÜV 1983, Germany
ISBN 3-88585-58-3
- 5.- SAE Handbook
Volume 3, Engines, Fuels, Lubricants, Emissions and Noise
ISBN 0-89883-884-3
Society of Automotive Engineers 1988
NORMAS
3:25.105 Constant volume sampler system for exhaust
emissions measurements, SAE J 1094 a
3:25.130 Test procedure for the measurement of exhaust
emissions from small utility engines, SAE J 1088

**CAPITULO 5. PROYECTO DE UN LABORATORIO DE EMISIONES DEPFPI
UNAM****EQUIPO A UTILIZAR.**

Prácticamente en todo el mundo se ha estandarizado el principio físico de funcionamiento que deben tener los analizadores de gas para cada contaminante en particular. En México la reglamentación oficial no ha sido la excepción y en general coincide con las normas norteamericanas emitidas por la EPA (Environment Protection Agency) Así se ha definido que para medir monóxido y dióxido de carbono se usará el sistema de absorción infrarroja no dispersiva, para medir el espectro total de hidrocarburos se usará el principio de detección de ionización por flama (FID, Flame Ionization Detector) y para medir concentraciones de óxidos nitrosos se empleará el método de detección de luminiscencia química. (CLD).

ANALIZADORES POR ABSORCIÓN INFRARROJA NO DISPERSIVA (NDIR). (1) y (2)

En esta clase de analizadores se utiliza como parámetro de medición la absorción específica de radiación en el rango espectral infrarrojo por un gas poliatómico. Dicha absorción tiene lugar entre los 2.5 y los 12 μ m de longitud de onda. Con excepción de los gases monoatómicos (por ejemplo, los gases nobles) y de los gases biatómicos constituidos por dos átomos iguales (Hidrógeno y Nitrógeno), todos los gases poseen un espectro de absorción infrarrojo. Esto significa decir que si se someten los gases a una fuente de radiación, solamente se absorbe aquella radiación cuya longitud de onda coincide con las bandas espectrales correspondientes a cada gas. Cada gas tiene ciertas bandas de absorción que le son propias, los gases con moléculas simétricas solamente tienen bandas de absorción en el rango ultravioleta pero no en el infrarrojo.

Si se envía un rayo infrarrojo con longitud de onda λ y de intensidad I_0 a través de un gas que tiene una banda de absorción precisamente en λ y cuya concentración molecular es C , entonces el rayo infrarrojo saldrá del gas con una intensidad I . (Ver esquema 5.2). (1)

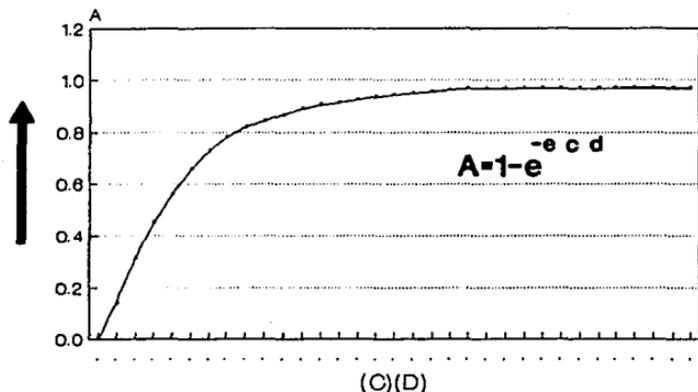


Figura 5.2 Absorción infrarroja según la ley de Lambert-Beer

La ley de Lambert-Beer describe cuantitativamente este fenómeno:

$$I(\nu) = I_0(\nu) e^{-c \cdot d}$$

donde

c es la concentración molecular del gas a través del cual pasa la radiación.

En el siguiente esquema se pueden apreciar algunos ejemplos de bandas espectrales de absorción característica para cada gas.

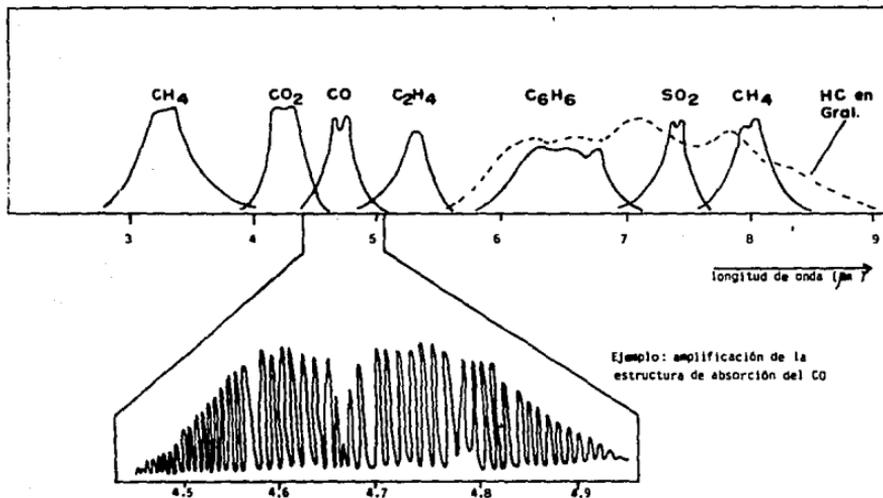


Figura 5.1

Patrón de absorción infrarroja de diferentes gases

d es la longitud del gas a través del cual tiene que pasar la radiación.

I_0 es la intensidad inicial de la radiación.

I es la intensidad final de la radiación.

ν es la frecuencia de la radiación absorbida.

Si se aumenta la concentración del gas a medir ó si se aumenta la longitud del camino (esto sería por ejemplo con una cámara de medición más larga), se aumenta la absorción y por tanto el efecto a medir.

Finalmente se puede linealizar electrónicamente la señal para obtener una no linealidad de menos del 2%.

En el siguiente esquema se verá la razón por la cual la radiación infrarroja se llama "no dispersiva" en los analizadores NDIR. (2)

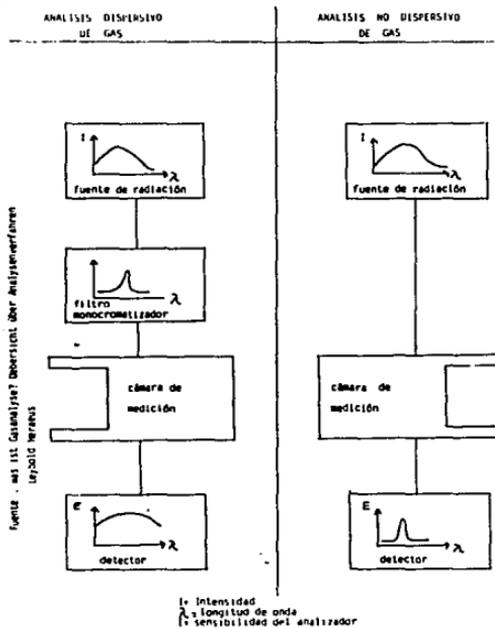


Figura 5.3

Comparación entre análisis dispersivo y no dispersivo

Se puede ver la diferencia entre la absorción dispersiva y no dispersiva:

Cuando la emisión infrarroja se filtra y se limita una longitud de onda específica (ya sea con ayuda de prismas, filtros ópticos) antes de su absorción, se le está dispersando. El analizador NDIR en cambio permite que radiación infrarroja con un ancho espectro de banda irradie al gas que se desea medir. Como se ha explicado antes, el gas a medir tiene espectros de absorción bien definidos y discrimina la radiación infrarroja restante. El aparato NDIR debe entonces medir la energía absorbida en el ancho de banda específico del gas que se desea analizar.

Es precisamente la medición de la energía absorbida la que se describe a continuación:

Se requiere de un fotómetro infrarrojo que consta fundamentalmente de tres partes: (2)

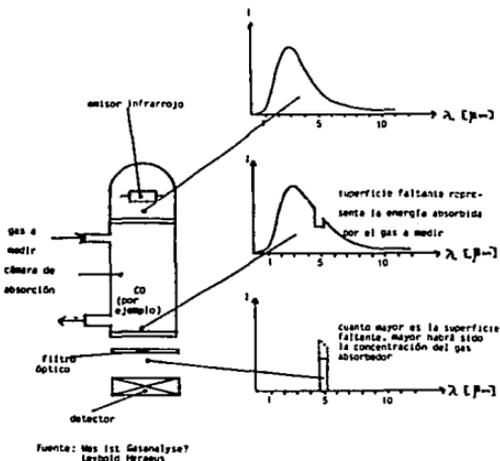


Figura 5.4

Esquema fotómetro infrarrojo (NDIR)

a) Fuente de radiación infrarroja:

En el rango infrarrojo se puede usar como fuente un irradiador térmico. Una resistencia calienta una pieza cerámica hasta cierta temperatura. Cuanto mayor es la temperatura, el máximo de la energía irradiada se desplazara hacia longitudes de onda más cortas. Para poder trabajar con longitudes de onda de entre 2 y 18 micrómetros se deben usar temperaturas de alrededor de 1000K.

b) Cámara de absorción:

Generalmente se reduce a un tubo cilíndrico que está cerrado por ambos lados con una ventana de vidrio de cuarzo y que tiene una entrada y una salida de gas. Si por ejemplo el gas que circula por la cámara de absorción contiene monóxido de carbono, entonces una parte de la radiación emitida por la fuente proporcional a la concentración del monóxido de carbono será absorbida alrededor de la longitud de onda de 4.67 micrometros, (ver esquema anterior).

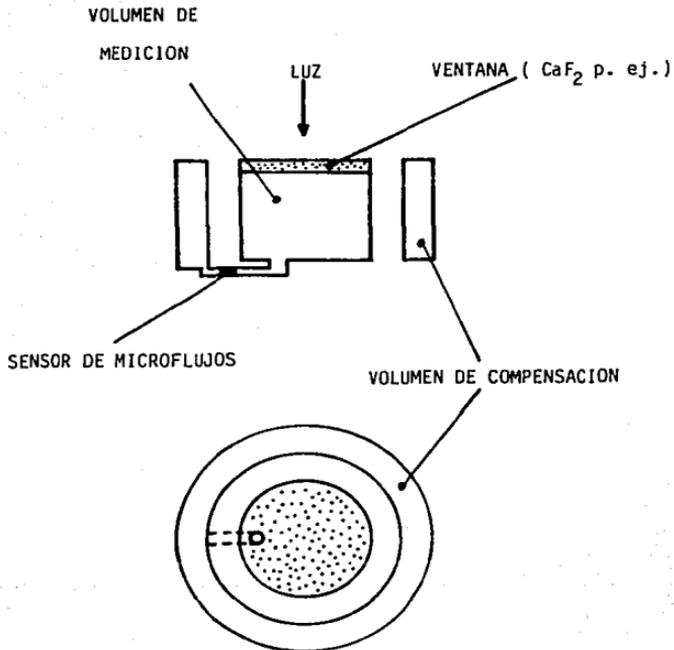
Es decir que de la cámara de absorción sale el total del espectro emitido por la fuente infrarroja menos la absorción del gas en cuestión.

c) Cámara de comparación:

También es irradiada por la fuente infrarroja. Esta cámara está llena de un gas (generalmente nitrógeno) totalmente permeable a la radiación infrarroja y permite que pase sin modificación toda la energía de la fuente hasta el detector.

d) Detector:

Tiene la tarea de determinar cuantitativamente la absorción infrarroja realizada por el gas a medir. Para ello compara la intensidad de radiación que recibe a través de la cámara de absorción con aquella que recibe a través de la cámara de comparación. El principio de medición generalmente usado es neumático y se explica a continuación con ayuda del siguiente esquema. (2)

**Figura 5.5****Detector neumático (NDIR)**

Una cámara metálica forma el volumen de medición. Este volumen de medición tiene una ventana a través de la cual se irradia alternativamente por la energía que pasa a través de la cámara de absorción y la cámara de comparación.

El volumen de medición esta lleno con el gas que se desea medir. Dicho volumen esta unido mediante un canal muy estrecho con un volumen de compensación y en este canal de comunicación hay un sensor de microflujos, sobre el cual se habla más adelante.

Cuando la radiación infrarroja pasa a través de la cámara de comparación, no se absorbe porque dicha cámara está llena de un gas biatómico (nitrógeno). Toda la energía llega directamente al volumen de medición donde sí se absorbe parcialmente, con lo que calienta al gas contenido. Este gas se expande y tiende a circular hacia el volumen de compensación.

Inmediatamente después de lo descrito, cae en el volumen de medición la radiación que pasó a través de la cámara de absorción. Obviamente la intensidad de esta radiación disminuye porque la absorbe el gas que se desea analizar.

De esto resulta un enfriamiento de gas contenido en el volumen de medición y un flujo a través del canal de comunicación en sentido inverso al antes descrito.

La cantidad de gas que se mueve entre los volúmenes de medición y compensación es un indicador de la energía absorbida en la cámara de medición y por lo tanto de la concentración de gas que se desea medir.

Un sensor de microflujos registra la cantidad de gas que oscila entre ambos volúmenes. Este sensor consta de un alambre calefactor de platino (diámetro de $18\mu\text{m}$, longitud de 4mm) que se calienta a $100-120\text{ C}$. A una distancia de $50\mu\text{m}$ a la derecha e izquierda del alambre calefactor se encuentran otros dos alambres de platino (diámetro $1\mu\text{m}$, longitud de 1mm) los cuales fungen como termo-resistencias. Su temperatura depende de la cantidad de calor que se transmite desde el alambre calefactor mediante el flujo oscilante de gas.

Este volumen de gas es minúsculo y por lo tanto la señal que se puede obtener en los alambres de medición es de solamente algunos nanovoltios. Esta señal se amplifica y linealiza con circuitos electrónicos correspondientes.

ANALIZADORES POR DETECCIÓN DE IONIZACIÓN POR FLAMA (FID Flame Ionization Detector). (1) y (3)

Todos los componentes no quemados de la gasolina, así como aquellos compuestos parcialmente oxidados resultantes de la combustión automotor se registran como una suma total de Hidrocarburos. Para medir esta clase de emisión se se usan detectores de ionización de flama (FID).

Esta tecnología es de uso internacional y se explica a continuación.

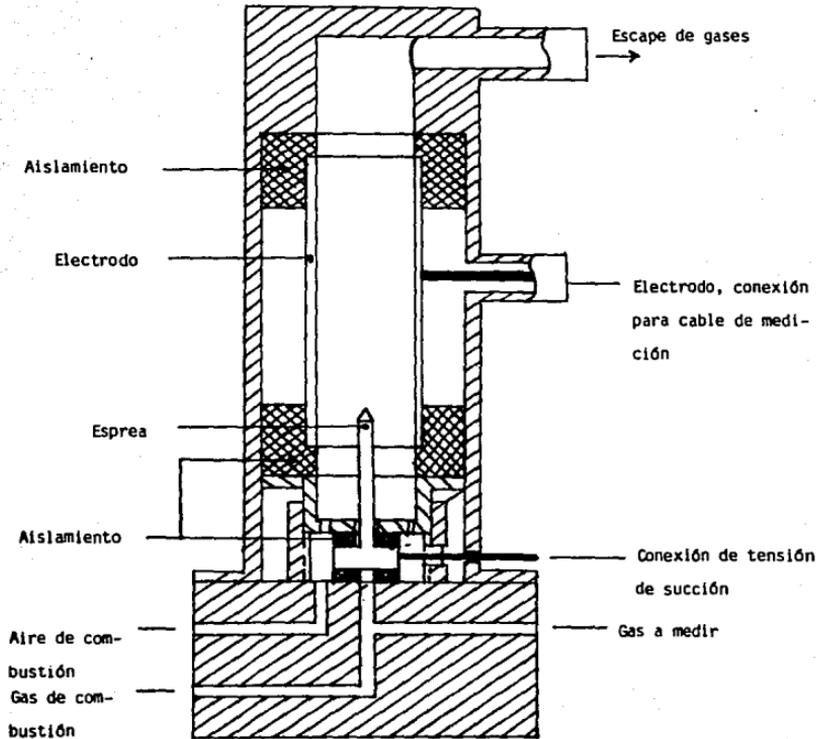
Debido a que las emisiones vehiculares contienen más de 300 compuestos de hidrocarburos es difícil desarrollar un analizador igualmente sensible a todo el espectro de Hidrocarburos. Es por ello que se decidió usar el FID, pues en esta clase de analizadores hay una relación lineal entre la señal de medición y la cantidad de átomos de carbono del gas a analizar, independientemente de su estructura molecular.

El principio de operación del FID se basa en la creación de iones en una flama de hidrocarburos a partir de las moléculas de hidrocarburos. La flama arde entre dos electrodos, a través de los cuales existe un voltaje continuo.

El gas combustible (hidrógeno ó mezcla de helio/hidrógeno) y un gas carburante (Aire purificado) se suministran a través del bloque de combustión por separado.

El gas que se desea analizar se mezcla con el gas combustible. Los iones provocados en la flama inducen un flujo de corriente entre los electrodos antes mencionados, que es directamente proporcional al contenido de carbono en el gas. Típicamente la magnitud de la corriente está entre 10^{-12} y 10^{-10} A. Dicha señal se amplifica y se usa como medición del espectro total de hidrocarburos del gas analizado.

A continuación se presenta un diagrama esquemático de un detector de ionización por flama. (3)

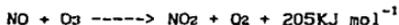

Figura 5.6

Esquema de funcionamiento
 Detector de ionización por flama (FID)

DETECTOR DE LUMINISCENCIA QUÍMICA. (1)

Los detectores de luminiscencia química (CLD Chemical Luminescence Detectors) son los analizadores estandares para determinar las concentraciones de óxidos nitrosos.

El principio de funcionamiento de un analizador CLD se basa en la reacción espontánea entre monóxido de nitrógeno y ozono segun la siguiente reacción:



Aproximadamente 10% de las moléculas de bióxido nitroso se encuentran en un estado de excitación después de esta reacción. Estas moléculas excitadas del NO_2^* se desprenden espontáneamente de su exceso de energía en forma de una radiación óptica medible -la así llamada luminiscencia química- para caer en un estado de equilibrio. Ello se describe formalmente de la siguiente manera:

$$\text{NO}_2 \text{ ----> NO}_2 + h \cdot \nu \quad \text{donde } h = \text{intensidad lumínica}$$

$$\nu = \text{longitud de onda.}$$

La intensidad de la luminiscencia se observa en un ancho de banda entre 590 y 3000 nm es directamente proporcional a la concentración de óxidos de nitrógeno.

Utilizando este principio de medición solamente se puede cuantificar la cantidad de NO. El porcentaje de NO_2 contenido en el gas que se desea analizar, no sería registrado pues no reacciona con ozono ni proporciona luminiscencia química.

Sin embargo, es indispensable medir los bióxidos nitrosos que despiden el motor, ya que son producto del monóxido nitroso originalmente creado en el motor al reaccionar con el oxígeno ambiental.

Para poder medir el NO_2 en un analizador por luminiscencia química se le debe reducir a NO antes de reaccionar con el ozono. Ello se hace en una cámara catalizadora de reducción de

aproximadamente 925K. La cámara convertidora es generalmente de acero con un contenido mínimo de molibdeno de 2.5%. La catálisis se desarrolla de la siguiente manera:



En el siguiente cuadro se muestra un esquema de funcionamiento de un analizador por luminiscencia química (CLD). (1)

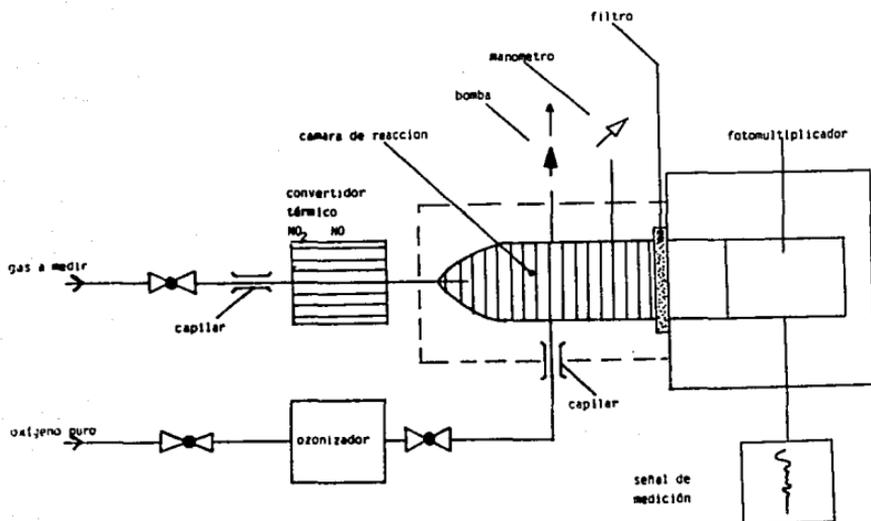


Figura 5.7

Esquema de funcionamiento
Detector de luminiscencia química (CLD)

El gas a medir circula por un regulador de presión através del convertidor hasta la cámara de reacción. En el convertidor todo el NO₂ contenido en el gas se reduce a NO y el monóxido nitroso encontrado originalmente en el gas de escape no sufre transformación alguna.

De un recipiente de oxígeno ó con aire puro se alimenta el ozonizador, cuya salida llega a través de un tubo capilar dosificador hasta la cámara de reacción, donde encuentra el gas que se desea medir.

En esta cámara de reacción sucede la combinación que se ha descrito del monóxido nitroso con el ozono, emitiendo luminiscencia química.

Esta radiación se filtra a través de un filtro óptico de banda estrecha y se mide su intensidad en un fotomultiplicador, cuya salida se amplifica, en caso dado se linealiza y se lleva a una pantalla ó graficador.

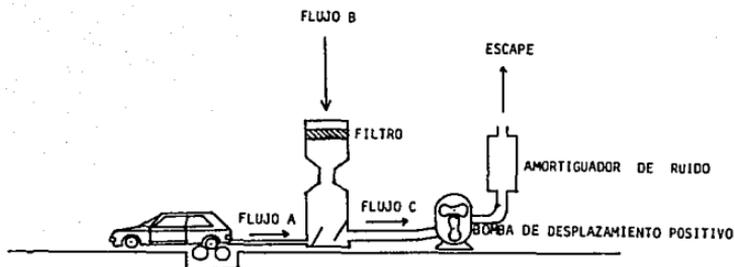
MUESTREO A VOLUMEN CONSTANTE (CVS)

En los Estados Unidos se comenzó a usar un sistema llamado "muestreo a volumen constante" (Constant Volume Sampling) para tomar muestras de los gases emitidos durante un ciclo estandarizado de manejo. Este sistema de muestreo conduce la totalidad de los gases emitidos por el automóvil en prueba a través de un sistema de flujo volumétrico constante.

Este sistema debe tener una capacidad muy superior al máximo flujo de gases que puede emitir el automóvil aún en carga plena.

La diferencia volumétrica entre la capacidad del sistema de flujo y el flujo emitido por el automóvil se compensa con aire ambiental filtrado. Dicho de otra manera:

Se tiene un sistema de flujo constante (ya sea una bomba de desplazamiento positivo o un venturi de flujo crítico que se explica más adelante) que absorbe todo el gas emitido por el automóvil de prueba, así como aire ambiental. Esto se ilustra en el siguiente esquema: (4)



$A + B = C$ - FLUJO CONSTANTE

A - ES EL FLUJO VARIABLE DE GASES DE ESCAPE QUE VARIA EN FUNCIÓN DE LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR.

B - ES EL FLUJO DE AIRE AMBIENTAL QUE VARIA PARA MANTENER EL FLUJO C CONSTANTE.

C - ES EL FLUJO CONSTANTE TRANSPORTADO POR LA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

Figura 5.8

Dilución en equipo de muestreo a volumen constante

Esto explica que el gas de escape se diluye a lo largo de la prueba, pero con diferentes factores de dilución. (Si el motor está caminando en ralentí, casi todo el gas a través del CVS es aire ambiental; si el motor está muy revolucionado, son los gases de escape los que ocupan una gran parte de la capacidad del flujo del CVS).

De la mezcla de gas de escape y aire ambiental se toma durante toda la prueba una muestra continua de volumen constante y se almacena en una bolsa de teflón. Esto representa una integral física (muestreo prácticamente diferencial a lo largo de la prueba) y la concentración encontrada en las bolsas de colecta es la concentración promedio durante toda la prueba.

En la siguiente ilustración se muestra el esquema de funcionamiento de un equipo de CVS trabajando con una bomba de desplazamiento positivo (PDP, Positive Displacement Pump) como sistema de flujo constante. (1)

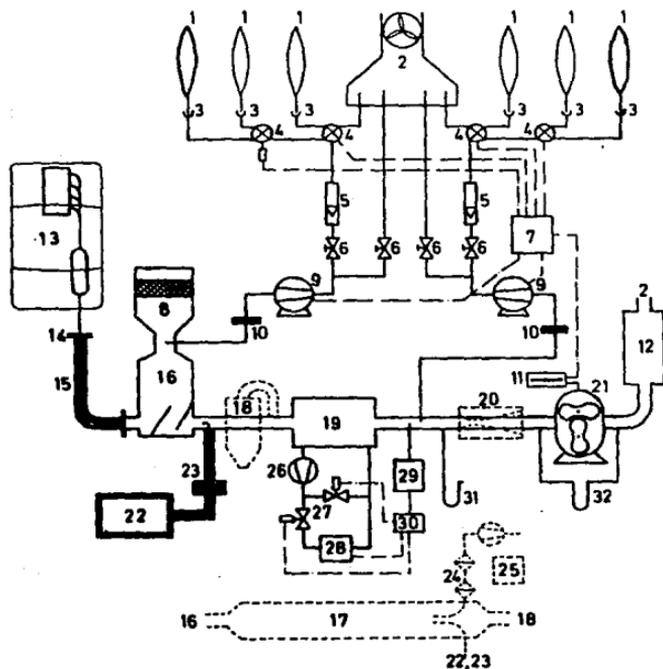


Figura 5.9

Equipo CVS, esquema de funcionamiento

- 1.- bolsas de acumulación de muestra
- 2.- escape de gases con ventilador
- 3.- conexiones rápidas
- 4.- electroválvulas
- 5.- flujómetro
- 6.- válvula de aguja
- 7.- control central
- 8.- filtro para aire de dilución
- 9.- bomba para muestra
- 10.- filtro para partículas
- 11.- contador de revoluciones para bomba de desplazamiento positivo
- 12.- amortiguador de ruido
- 13.- motor de vehículo para prueba
- 14.- brida (conexión entre sistema CVS y automóvil)
- 15.- tubo flexible
- 16.- cámara de mezcla
- 17.- tunel de dilución (sólo para Diesel)
- 18.- separador
- 19.- intercambiador de calor
- 20.- espesa de flujo crítico
- 21.- soplador tipo "Roots" (bomba de desplazamiento positivo)
- 22.- analizador de HC con calefacción (sólo para Diesel)
- 23.- tubería con calefacción (sólo para Diesel)
- 24.- toma de partículas (sólo para Diesel)
- 26.- bomba de agua para intercambiador de calor
- 27.- electroválvulas
- 28.- calefactor eléctrico
- 29.- registro de temperatura de intercambiador
- 30.- control de temperatura de intercambiador
- 31, 32.- manómetros

En el esquema anterior una bomba de desplazamiento positivo se encarga de dos tareas fundamentales:

- Diluye los gases de escape con aire ambiental para elevar el punto de rocío, evita que haya condensación y dañar los analizadores de gas.
- Mide el volumen de los gases transportados a través de ella.

La capacidad máxima de esta bomba de desplazamiento positivo debe ser de alrededor de $10 \text{ m}^3/\text{min}$ y la generalidad de las bombas usadas tienen una capacidad de 4-5 l/revolucion.

Al mismo tiempo que se toma una muestra del gas de escape diluido, se debe tomar una muestra del aire ambiental para analizarse. Esto se hace con el fin de conocer el nivel de contaminación ambiental independientemente del motor y así poder discernir qué parte de la concentración de gases es causada por el motor y cual ya existía en el ambiente.

En el capítulo 4 de la presente tesis se muestra el cálculo de las emisiones de un automóvil. En este capítulo se ve que al análisis de los gases diluidos se le debe restar la concentración de contaminantes en la atmosfera para no achacar al motor la contaminación ambiental.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

El consumo promedio de combustible de un automovil se calcula a partir de las emisiones medidas en los ciclos US-75 y US-Highway.

Dicho calculo se basa en un balance de atomos de carbono encontrados en las emisiones. Se supone que todos los componentes de gases de escape que contienen carbono (HC, CO, CO₂) entraron al motor en forma de gasolina.

Para realizar el balance se utiliza la siguiente formula:

$$C_c = \frac{GHC \cdot \rho_c \cdot f_v}{GHC \cdot \rho_c \cdot M_{HC} + 0.429 M_{CO} + 0.273 M_{CO_2}} \quad 2$$

Donde

C_c = Distancia recorrida por unidad de volumen del combustible.
 G_{HC} = Contenido de carbono de la molecula de HC representativa del combustible. Según el registro Federal Norteamericano esta variable debe valer 0.866 (86.6%).

ρ_c = Densidad del combustible en g/cm^3 . Según el registro federal es de 0.739.

M_i = Masa de la sustancia i en gr/km .

Se debe calcular el consumo de combustible del ciclo US-75 (Representativo del manejo en ciudad) y el consumo del ciclo US-Highway (Representativo del manejo en carretera). Dichos valores se ponderan de la siguiente manera para calcular un consumo general.

$$C_g = 0.53C_c + 0.47C_H$$

donde

C_g = Consumo general.

C_c = Consumo en ciudad

C_H = Consumo en carretera.

AYUDA DE MANEJO

Para poder seguir los ciclos de manejo estandarizados, se requiere un dispositivo que indique al conductor de la prueba cuando acelerar, frenar y conducir a velocidad constante. Para ello se usan desde tacómetros y cronómetros (que provocan una gran cantidad de errores), hasta una indicación de las curvas de manejo.

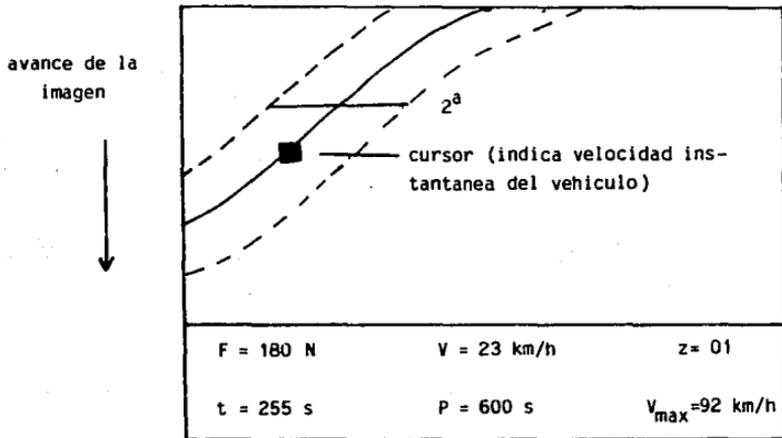
En una etapa intermedia se utilizaron tiras de papel con la curva de manejo dibujada a lo largo de su longitud. Un segmento de dicha tira de papel pasaba a velocidad constante a

la vista del conductor. Un indicador sobre la curva de manejo indicaba la velocidad instantánea para que el conductor pudiera reaccionar correspondientemente.

Actualmente se utiliza como ayuda de manejo monitores de video donde aparece la curva de manejo, sus tolerancias en velocidades y tiempo y los puntos donde se debe cambiar de velocidad.

Un cursor sobre la pantalla indica la velocidad instantánea a que está rodeando el vehículo de prueba.

La ayuda de manejo está conectada a una computadora que registra cualquier infracción a la curva de manejo para evidencia de que el ciclo de manejo fue realizado correctamente. (1)



- F- fuerza instantánea con que carga el dinamómetro
 V- velocidad instantánea del vehículo (pos. cursor)
 z- número de ciclo
 t- tiempo transcurrido desde inicio de prueba
 P- duración de la pausa
 V_{max} - vel. máxima del ciclo de manejo
 2^a - cambio a segunda velocidad

Figura 5.10

Pantalla de la ayuda de manejo

DINAMOMETRO DE CHASIS

La verificación moderna de emisiones se realiza simulando el manejo en la calle sobre un dinamómetro de rodillos.

El dinamómetro de rodillos debe estar provisto de diferentes masas inerciales (para simular la inercia del vehículo) y de una unidad de absorción de potencia variable (para simular la carga del camino).

Por lo general el diámetro de los rodillos sobre los cuales rueda el vehículo varía entre 250 y 510 mm.

a) Masas inerciales:

Para simular correctamente aceleraciones positivas y negativas de la masa vehicular se utiliza comunmente discos inerciales acoplados a los rodillos. La masa inercial debe corresponder a la masa del vehículo vacío y un sobre peso de 100kg.

La masa del vehículo vacío es la masa del coche sin pasajeros ni carga, con todos sus líquidos a nivel y con la llanta de refacción.

b) Unidad de absorción de potencia (dinamómetro):

Para tomar en cuenta las pérdidas normales durante la conducción en la calle debidas a resistencia del aire, fricción contra el pavimento y fricciones internas, se utiliza un freno acoplado a los rodillos.

Los frenos hidráulicos tienen una característica de absorción de potencia contra velocidad similar a la carga de camino de los automóviles.

Los dinamómetros hidráulicos son relativamente baratos pero tienen algunas desventajas:

- a) Las características de los dinamómetros varían de modelo a modelo.
- b) Las características de los dinamómetros pueden variar en el tiempo debido a corrosión o incrustaciones provocadas por agua "dura".

c) no se puede realizar una verdadera aproximación a la carga de camino real.

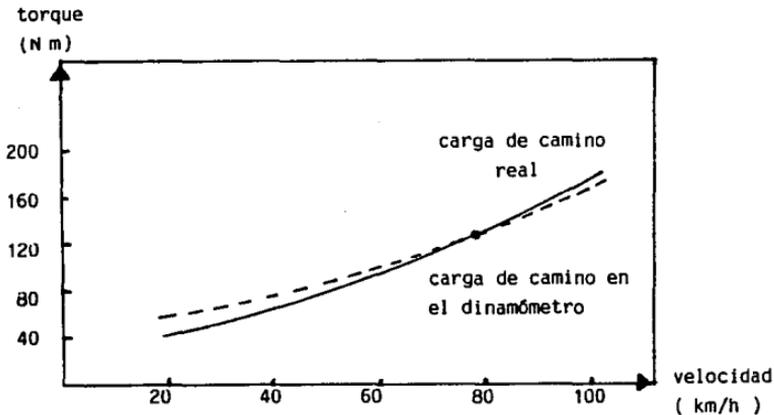


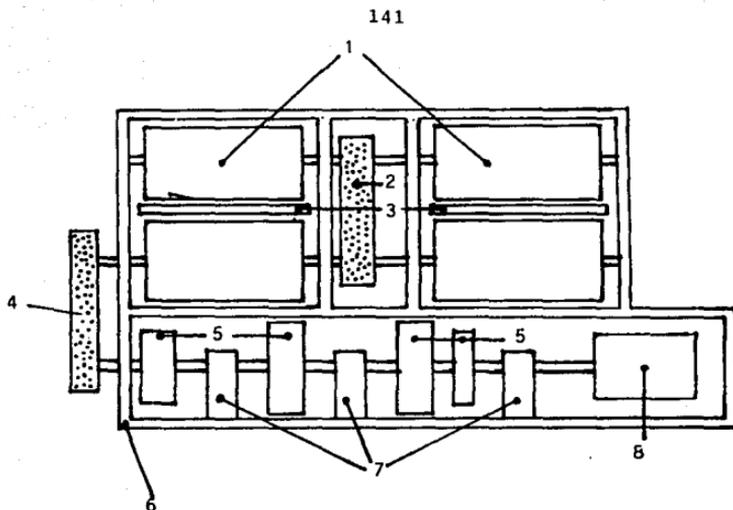
Figura 5.11

Ajuste de característica de carga

Los dinamómetros eléctricos son mucho más caros pero ofrecen las siguientes ventajas:

- Es posible elegir y modificar las características de carga.
- Los valores necesarios de absorción de fuerza pueden ser ajustados y verificados con gran precisión.
- No hay influencias en las características de frenado por envejecimiento.

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente un dinamómetro de chasis. (1)



- 1.- rodillos
 2.- banda de transmisión entre rodillos
 3.- gatos neumáticos
 4.- banda de transmisión entre rodillos y bandas inerciales
 5.- masas inerciales
 6.- marco del dinamómetro
 7.- soportes de masas inerciales
 8.- unidad de absorción de potencia

Figura 5.12

Esquema del dinamómetro de chasis

Los dinamómetros de rodillos deben simular la carga de camino lo más apegado a la realidad que sea posible. Dicha carga de camino se calcula de la siguiente forma:

$$F_c = F_r + F_a + F_p$$

donde:

- F_c es la resistencia de tracción en N.
- F_r es la resistencia por rodamiento en N
- F_a es la resistencia aerodinámica en N.
- F_p es la resistencia por pendiente en N.

La reglamentación de emisiones establece que la carga de camino debe simularse en un trayecto plano, por lo que la expresión se reduce a:

$$F_c = F_r + F_a$$

1.- Resistencia por rodamiento F_r .

La resistencia por rodamiento es provocada por la deformación de las llantas y el camino debajo de ellas. La resistencia a rodar aumenta con la carga del vehículo y su velocidad, y aumenta cuando disminuye la presión de inflado de las llantas, así como su diámetro. Sin embargo se puede calcular con la expresión simplificada:

$$F_r = f \cdot m \cdot g$$

donde:

- f es el coeficiente de resistencia al rodamiento (adimensional)
- m es la masa del vehículo en Kg.
- g es la aceleración gravitacional en m/s^2

Se muestran algunos coeficientes de resistencia al rodamiento:

SUPERFICIES	COEFICIENTE f
Neumáticos sobre pavimento	0.015
" " tierra compactada	0.05
" " tierra floja	0.1...0.35

2.- Resistencia aerodinámica F_a

La resistencia aerodinámica se calcula de la siguiente forma:

$$F_a = 0.5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A(v + v_o)^2$$

donde:

ρ es la densidad del aire en Kg/m^3

C_w es el coeficiente aerodinámico (adimensional)

A es la mayor sección transversal del vehículo

v es la velocidad de avance del vehículo en m/s

v_o es la velocidad del viento frontal en m/s

Algunos coeficientes aerodinámicos típicos para automóviles son:

TIPO DE VEHÍCULO	COEFICIENTE C_w
Volkswagen Sedán	0.65
Nissan Ichi-van	0.55
Ford Taurus	0.40
Diseños optimizados	0.20-0.15

Como se puede apreciar, la carga de camino tiene una componente prácticamente constante y otra componente cuadrática con la velocidad. Un dinamómetro de rodillos debe ser capaz de simular dicha carga con razonable precisión.

La potencia de camino (que es la que finalmente debe absorber el dinamómetro) será entonces:

$$P_c = F_c \cdot v = (F_r + F_a) \cdot v$$

Con los actuales equipos de control, es posible simular dicha característica de potencia con gran precisión.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.

- 1.- Hausschulz et al. "Emissions- und Immissionsmesstechnik im Verkehrswesen".
Köln, Verlag TÜV 1983 Germany
ISBN 3-88585-58-3
- 2.- Was ist Gasanalyse?
Übersicht über Analysenverfahren zur Emissions- und Immissionsmessung
Leybold-Heraeus GmbH 1982
- 3.- Anónimo Folleto de "Pierburg Messtechnik" empresa particular
FID PM-1, Flame ionization detector
Pierburg GmbH 1988
- 4.- Robert Bosch GmbH "Automotive Handbook"
2a Edición en Inglés, 1986

OBRA CIVIL

INTRODUCCION:

Para efectuar mediciones de gases de escape en vehiculos, es necesario contar con un local adecuado para ello.

Es por ello que se hace indispensable tener el laboratorio para medición de gases de escape; así mismo este laboratorio tendrá el propósito de probar elementos, dispositivos e instrumentos instalados en los vehiculos para reducir el porcentaje de gases contaminantes en el escape.

En este capitulo se describen los servicios con que debe contar el laboratorio para en el poder efectuar pruebas estandarizadas de acuerdo a las normas nacionales e internacionales establecidas.

La implementación de estos laboratorios se ha llevado a cabo en urbes con gran densidad de población tales como Los Angeles, Londres, etc.

Actualmente en la Ciudad de México y debido al grave problema de contaminación se ha hecho necesario desarrollar laboratorios en los que se puedan efectuar pruebas y desarrollos para evitar este problema.

La diferencia más grande entre la ciudad de México y las demás ciudades donde se tienen laboratorios para control de emisiones es la altura sobre el nivel del mar.

La altura de la Ciudad de México es de 2240 m.s.n.m..

DESARROLLO

Para tener un funcionamiento adecuado del laboratorio de emisiones es necesario que se satisfagan ciertos requisitos, tales como cumplir normas preestablecidas; las normas a las que se apegara el laboratorio son:

1.- NOM-AA-11-1980. La cual especifica el tipo de equipo e instrumental requerido para el análisis de gases de escape en México. Dicha norma fue emitida por la SECOFI.

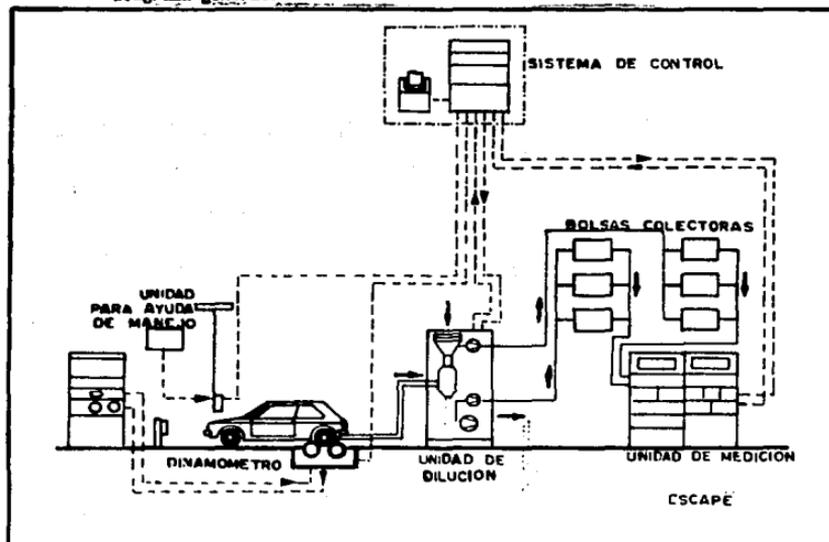
2.- Normas emitidas por EPA (Environmental Protection Agency) en los E.U.A., estas normas son a las cuales se sujetan los laboratorios en los E.U.A., y los que actualmente se encuentran en México. Dichas normas se encuentran registradas en el "FEDERAL REGISTER" del gobierno federal Norteamericano.

Para la construcción del edificio como de sus instalaciones se debe cumplir con:

- 1.- El Reglamento de Construcción del Departamento del Distrito Federal.
- 2.- El Reglamento de Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salubridad.
- 3.- Las Normas Técnicas de la Oficina de Seguridad Urbana del Departamento de Bomberos de la ciudad de México.

ESQUEMA GENERAL DEL LABORATORIO

Diagrama general:



DEFINICIÓN DE LAS PARTES DEL LABORATORIO PARA MEDICIÓN DE GASES CONTAMINANTES

El laboratorio debe contener diversas áreas de trabajo, estas áreas son las siguientes:

- 1.- Área para dinamómetro de chasis.
- 2.- Área de medición.
- 3.- Área para dinamómetro de motor.
- 4.- Área para acondicionamiento de vehículos

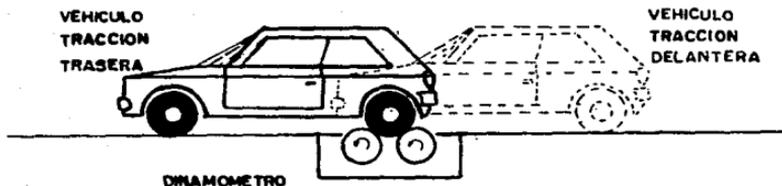
Estas cuatro áreas son las principales que contiene el laboratorio; además de estas áreas el laboratorio contará con un área para investigación y desarrollo de elementos para evitar la emisión de gases contaminantes en los vehículos automotores esta área contará con:

- 5.- Cubículos.
- 6.- Sala de juntas.
- 7.- Recepción
- 8.- Baños generales.

DESCRIPCIÓN DE ÁREAS

1.- Área para Dinamómetro de Chasis. Esta área contiene al dinamómetro de chasis en el se podrán simular condiciones de manejo. Esta área esta definida por el espacio que se emplea para contener el equipo de ayuda en el manejo (Drive Aid), la consola del propio dinamómetro de chasis, el ventilador para el enfriamiento propio del motor, el compresor para la dilución de gases y el vehículo al que se le efectuaran las mediciones. Esta área se ve condicionada principalmente por el dinamómetro de chasis que posee la Facultad de Ingeniería. Dicho dinamómetro tiene en sus rodillos la posibilidad de giro en un solo sentido, lo cual implica que debemos tener un área

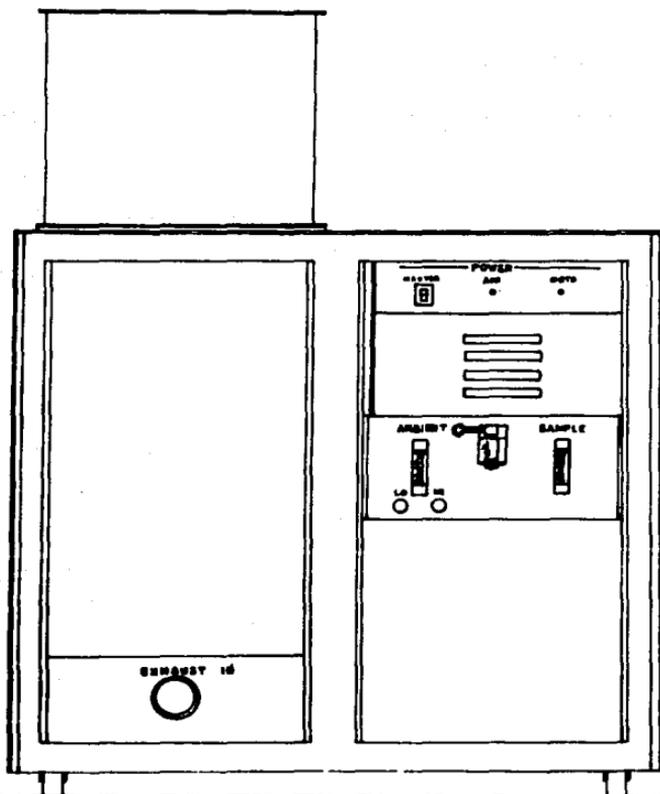
al frente y detrás de los rodillos capaz de contener al vehículo por si este es de tracción delantera ó de tracción trasera, basandose en un diagrama proporcionado por Sun Electric (ver fig.5.13) se concluye que el área que se empleara para este local debe ser de las dimensiones siguientes: 06.30m x 16.65m.



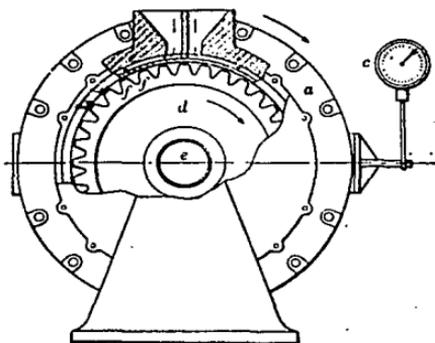
2.- Área de medición. Esta área contendrá a los equipos de medición el cual constará de:

- a) Analizador de NOx
- b) Analizador de O₂
- c) Analizador de CO₂
- d) Analizador de CO
- e) Analizador de NO
- f) Analizador de HC

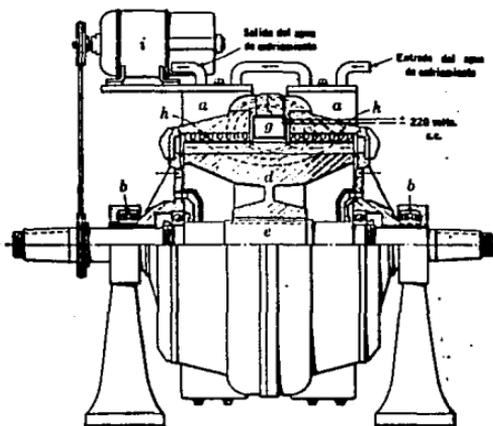
Debido al tamaño de las consolas (Ver fig.5.14) se requiere un espacio de 01.48m x 00.82m. más un área para revisar dar mantenimiento y recolectar datos tenemos que el área de medición será de 09.50m x 04.20m



DIMENSIONES: 2.03m. de ALTO, 1.47m. de ANCHO, 0.8m. de PROFUNDIDAD



(a)



(b)

Vistas de cortes en un freno de corrientes parafijas Dynamic
(Cortesía de la Midwest Dynamometer Co.)

3.- Área para dinamómetro de motor. Esta área contendrá un dinamómetro de motor (el cual puede ser hidráulico eléctrico), así como todas sus conexiones posibles. Se recomienda el uso de un dinamómetro de motor del tipo eléctrico y de corrientes parásitas. (figura 5.15)

Esta área tendrá las dimensiones siguientes 05.40m x 06.30m.

4.- Área para acondicionamiento de vehículos. Esta área debe contener de tres a cuatro vehículos los cuales deberán ser acondicionados para que se les pueda posteriormente efectuar la prueba en el dinamómetro de chasis. En esta zona se debe contar al menos con un compresor pequeño para servicios diversos (Inflado de neumáticos, limpieza de partes con aire a presión, etc.). Así esta área será del tamaño siguiente 08.70m x 12.60m.

5.- Cubículo. Los cubículos serán para uso de los investigadores. En la universidad se han estandarizado estas áreas y se construyen del tamaño siguiente 03.60m x 02.70m.

6.- Sala de juntas. Será del tamaño de dos veces el tamaño de un cubículo quedando finalmente de 03.60m. x 05.40m.

7.-Recepción. Para evitar el derribo de árboles, se diseñó el área de la recepción en forma un tanto irregular, adecuando el área al número de visitantes esperados

8.-Baños. Esta área debe ser lo suficientemente grande y contener los muebles necesarios para todos los que se encuentren en el laboratorio y en investigación esta área es de 05.60m x 05.40m.

DEFINICION DE SERVICIOS POR AREA

1. En el área para el dinamómetro de chasis.

i) Corriente eléctrica en 220 V y 60 Hz así mismo en 127 V y 60 Hz para equipos.

ii) Iluminación con 300 lumen.

iii) Aire acondicionado con temperatura de 23 °C +- 7°C y humedad relativa de 50 % .

iv) Fosa sanitaria para derrame de líquidos.

v) Protección contra incendio a base de extinguidores de polvo químico.

2. En el área de Medición.

i) Corriente eléctrica en 220 V y 60 Hz así como en 127 V y 60 Hz para las consolas.

ii) Iluminación con 300 lumen.

iii) Aire acondicionado con temperatura de 23 °C ±7°C y humedad relativa de 50 % .

3. En el área del dinamómetro de motor

i) Protección contra incendios.

ii) Hidráulica con alimentación para enfriamiento

iii) Sanitaria para captar agua de enfriamiento

iv) Banco de resistencia para pruebas

4. En el área de acondicionamiento.

i) Iluminación de apoyo en el techo con 300 lumen.

ii) Corriente eléctrica en 127 V y 60 Hz para lámparas portátiles a usar en los vehículos como iluminación principal, y también para taladros y otros equipos adicionales.

iii) Una fosa para acondicionamientos en la parte inferior de un vehículo. Esta fosa deberá medir 0.8m de ancho x 2.0m de longitud y 1.8m de alto y contará con una toma de agua y drenaje.

iv) Instalación hidrosanitaria con tomas de agua en diversas partes de esta área.

5. Cubiculos

- i) Iluminación con 400 lumen para realizar trabajos con una fijación constante de la vista.
- ii) Corriente eléctrica en 127 V y 60 Hz.

6. Sala de Juntas

Idem a cubículos.

7. Recepción

Idem a cubículos solo que con 300 lumen.

8. Baños

- i) Iluminación de 100 lumen.
- ii) Instalación hidrosanitaria
- iii) Corriente eléctrica 127 V y 60 Hz.

Una vez habiendo definido las areas así como los servicios que estas requieren, se procede a conjuntar todos estos locales como uno solo. ✓ La facultad de Ingenieria ha asignado un terreno para el laboratorio de emisiones. En dicho terreno existen varios árboles adultos , deseando preservarlos , se llevo al diseño que se indica en el plano 1.

INSTALACIÓN HIDROSANITARIA

MEMORIA DE CÁLCULO DESCRIPTIVA

El objetivo de la instalación hidráulica es alimentar con agua a todos los equipos y muebles que así lo requieran.

El objetivo de la instalación sanitaria es conducir las aguas negras y/o pluviales fuera del edificio para evitar la formación de zonas insalubres, dentro y adjuntas al predio ocupado por el edificio.

I.- Instalación Hidráulica

Alimentación y almacenamiento.

La alimentación de agua al edificio se hará tomando de la red localizada en Ciudad Universitaria y se llevará hasta el edificio alimentando así a todos los muebles y equipos (se debe tener una presión de 7 m.c.a. como mín para la operación de un W.C. del tipo de fluxometro) más la presión necesaria para vencer la caída de presión en la instalación.

DOTACIÓN DE AGUA

Suponiendo un consumo por hora para cada mueble:

Cantidad	Mueble	L/h	Total L/h
15	Lavabo	50	750
9	W.C.	200	1800
6	Mingitorio	150	900
	TOTAL		3450

Si el edificio opera durante 8 hrs esto es de 7:00 a.m. a 11:00 a.m. y de 16:00 p.m. a 20:00 p.m se deberá tener un volumen de agua de:

$$\text{Volumen de agua} = 3450 \times 8 = 27600 \text{ lts/día}$$

Después de alimentar a el edificio el agua se conduce por medio de una red de tuberías hasta los muebles y equipos que así lo requieran. La forma en que se seleccionan los diámetros de estas tuberías es por el método de Hunter, este método asigna una cantidad determinada por la experiencia, de unidades de gasto llamadas unidades mueble, la cual se basa tanto en el consumo del mueble, así como en la frecuencia de uso.(1)
Así resultan las siguientes Unidades Mueble:

Mueble	Unidades mueble		
	AF	AC	TOT
W.C.	4	3	6
Lavabo	1	1	2
Mingitorio	5	0	5
Tarja aseo	1	0	1

Una vez que se ha determinado la cantidad de unidades mueble se seleccionan los diámetros con auxilio de la gráfica 5.16 para tuberías de cobre en la cual se encuentra la pérdida por fricción existente en la tubería. Las tuberías se diseñan para tener como máximo una pérdida por fricción del 10 %.

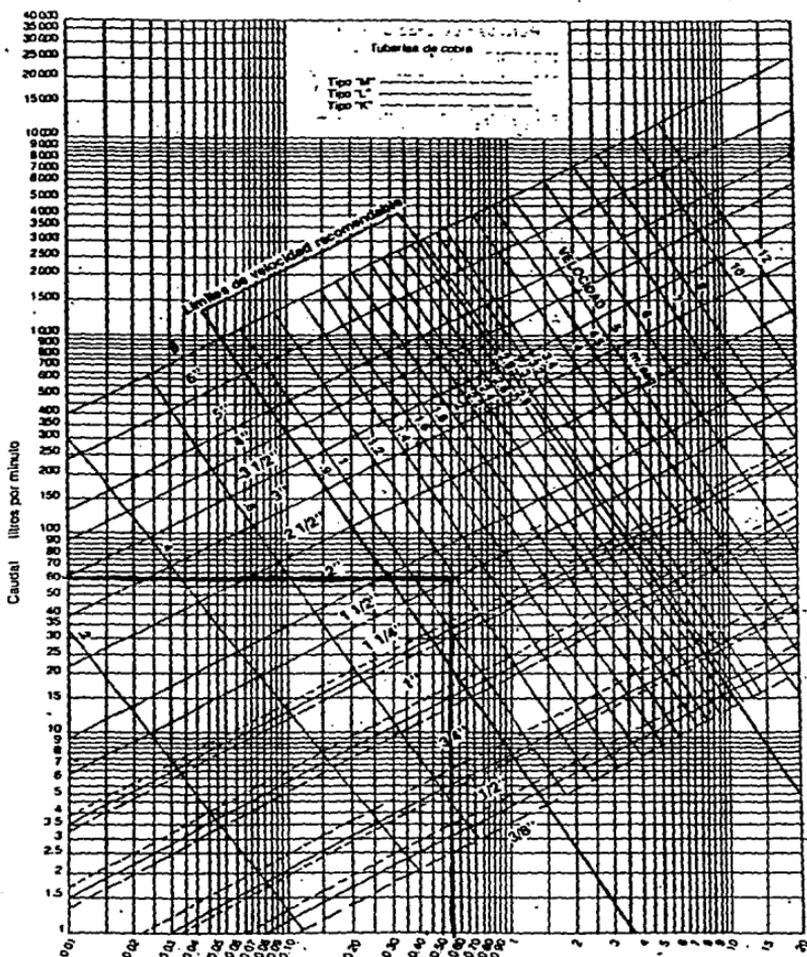
Instalación Sanitaria: Las tuberías de la instalación sanitaria se diseñan en base a la cantidad de unidades de descarga, teniendo ya como restricción que la conexión mínima para un W.C. deberá ser de 100 mm de diámetro y se diseñan en base a las tablas 4 5 6 para aguas pluviales y aguas negras. REF 2

INSTALACIÓN ELÉCTRICA MEMORIA DE CÁLCULO

PARÁMETROS DE DISEÑO

Todas las instalaciones eléctricas cumplirán en cuanto a diseño

con lo indicado por el reglamento de instalaciones eléctricas, así como por las normas técnicas para instalaciones eléctricas de SECOFI.



Características de la red :

- a) 220V/127V, 3F, 4H, 60 Hz
- b) 440V/254V, 3F, 4H, 60 Hz

Todas las luminarias del tipo fluorescente (slim line), operaran a 127V 1F, 2H, 60Hz pudiendo quedar aterrizados los balastos de las de tipo fluorescente.

Todas las canalizaciones serán metálicas(galvanizadas) y deberan tener continuidad a tierra en toda su longitud.

Para el sistema de iluminación, se emplearan las canalizaciones como conductor a tierra.

Para contactos y fuerza, se instalará un conductor para tierra física, uno para cada circuito y será aislado para evitar que las corrientes de falla circulen por las tuberías en forma peligrosa para los ocupantes del local.(8)

PROYECTO DE ILUMINACIÓN

En el edificio se diseña y calcula la iluminación por el método de lumens, el cual es práctico y efectivo para determinar el número de luminarias necesarias para proporcionar una intensidad de luz promedio en cada cuarto.

A continuación se indica la fórmula empleada para los cálculos:

$$\text{No de Luminarias} = \frac{\text{Area(m}^2\text{)} \times \text{NI (luxes)}}{\text{CU} \times \text{FM} \times \text{Lumen/luminaria}}$$

donde:

N.I.= nivel de iluminación, promedio deseado.

C.U.= coeficiente de utilización, ver tabla CF-1 donde adicionalmente se necesita el índice de cuarto que se define como:

$$\text{I.C.} = \frac{\text{Area}}{\text{H(L + a)}} \quad (4)$$

F.M. = factor de mantenimiento = $D \times d$, donde:

D = depreciación de la lámpara, ver tablas TLE-1

d = depreciación por polvo

Los lumens emitidos por luminaria se toman de la tabla TLE-1 de acuerdo al tipo de luminaria seleccionada.

En todo el local se especifican lámparas eléctricas fluorescentes de 38 W y colocadas en bases como la mostrada en la fig CFE-1.

A partir de todo lo anterior se obtiene la tabla siguiente:

CONDUCTORES

Los calibres de conductores (fases y neutro) se calculan por capacidad de corriente (ampacidad) y por caída de tensión permisible en base a las siguientes ecuaciones:

POR CORRIENTE:

- a) Para un sistema monofásico (127V, 1F, 2H, 60 Hz)

$$i=W/(V_{rn} \times f_p)$$

- b) Para un sistema bifásico (220V, 2F, 2H, 60 Hz)

$$i=W/(V_{rr} \times f_p)$$

- c) Para un sistema trifásico (440V o 220V, 3F, 4H, 60 Hz)

$$i=W/(1.732 \times V_{rr} \times f_p)$$

POR CAIDA DE TENSIÓN:

- d) Para un sistema monofásico (127V, 1F, 2H, 60 Hz)

$$s=(4 \times I \times L) / \%V_{rn}$$

- e) Para un sistema bifásico (220V, 2F, 2H, 60 Hz)

$$s=(4 \times I \times L) / \%V_{rr}$$

- f) Para un sistema trifásico (440V o 220V, 3F, 4H, 60 Hz)

$$s=(2 \times 1.732 \times I \times L) / \%V_{rr}$$

donde:

I= corriente en Amperes

W= potencia en watts

V_{rn}= Tensión entre fase y neutro en volts

V_{rr}= Tensión entre fases en volts

f_p= factor de potencia en decimales

s= sección transversal del conductor de cobre en mm²

L= longitud del alimentador en m

%V= caída de tensión permisible en %

La caída de tensión máxima permisible será de:

- a) 2% para alimentadores a tableros

- b) 3% para alimentadores a CCM's

- c) 3% para circuitos derivados de tableros (alumbrado, contactos y motores).

d) 2% para circuitos derivados a motores de CCM's

Las capacidades de corriente y las secciones de los conductores se obtienen de tablas de los fabricantes, considerando aislamiento THW

MEMORIA DE CÁLCULO PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

El sistema de protección contra incendio se realiza de acuerdo a las Normas Técnicas del Departamento de Bomberos en las cuales se indica que debe colocarse al menos 1 extinguidor del tipo adecuado por cada 200 m² en laboratorios donde se manejan productos químicos o de fácil combustión además se deberá de contar con sistemas adecuados de detección para posibles conatos de incendio, enviándose esta señal al cuerpo de bomberos de Ciudad Universitaria. Esta detección deberá ser a base de detectores de temperatura, ya que un detector de humos podría mandar una señal con un automóvil que arroje humos en forma excesiva.

Además para protección del personal que ahí labore se deberá contar con un detector de monóxido de carbono, lo cual deberá dar una señal audible y visual al rebasar cierto nivel de este gas.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- 1.- IMSS "Normas de ingeniería y diseño de instalación hidráulica" Capítulo 8,10,17,19. México. (1985)
- 2.- S.A.R.H "Normas climatológicas" Dirección General del servicio Climatológico nacional México (1982)
- 3.- D.D.F "Reglamento de construcción" México D.F. Octubre 1982
- 4.- Anónimo "Catálogo de Electro Lighting Mexicana S.A." México D.F.
- 5.- Anónimo "Folleto de Sun Electric de México" México D.F.
- 6.- Anónimo "Folleto de Horiba" Japón.
- 7.- Anónimo "Folleto de Pierburg Messtechnik" Alemania.
- 8.- SECOFI "Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas" México D.F.
- 9.- Anónimo "Catálogo de Iluminación para la Industria S.A de C.V." México D.F.

EQUIPO DE COMPUTO

En forma general para que un sistema de computo funcione adecuadamente se necesitan coordinar dos areas del equipo, las cuales son el Hardware y el Software, la primera se compone principalmente por el equipo electrónico, la segunda está constituido por todos los programas que controlan al equipo electrónico ya definido.

Si ya se cuenta con el equipo de computo, el cual puede ser desde una simple computadora personal (PC) y el software necesario para manejarla como lo es el sistema operativo, editores, compiladores, librerías, entre otros, entonces el sistema de computo es operable para fines generales, ahora bien si se desea realizar alguna operación en particular como lo puede ser el monitoreo de algún periférico, controlar algún dispositivo mecánico, médico, astronómico o de cualquier otro tipo, es necesario realizar una revisión del equipo de computo empezando por el Hardware y el Software en existencia, lo anterior es necesario para cerciorarnos de que contamos con lo necesario para llevar a cabo la operación propuesta.

En caso de no tener lo necesario se procede a realizar la creación o adquisición del Hardware y/o Software necesario para realizar la operación requerida.

Si se opta por diseñar entonces lo primero que se diseña es el Hardware a partir de lo que ya existe, para luego diseñar el Software el cual es dependiente del Hardware.

Para este en particular caso se tiene un laboratorio de emisiones vehiculares el cual se desea controlar y realizar operaciones en tiempo real (operaciones al mismo tiempo que pasan), el funcionamiento del laboratorio se describe en otro capítulo en donde se muestra detalladamente el funcionamiento de este, lo que se desea controlar en el laboratorio es el dinamómetro de chasis, analizadores de gases y la bomba de muestreo (CVS).

Como el equipo de computo que se tiene no cuenta con lo necesario para realizar dicha operación se opta por realizar

un dispositivo controlador el cual consta de cuatro partes principales:

Sección de entrada
Controlador
Sección de salida
Sección de comunicaciones

Desde el punto de vista del Software se debén realizar los siguientes programas:

Controlador de comunicaciones y
almacenamientos de datos
Controlador de tiempos
Procesamiento de datos

En el transcurso de este capitulo se ampliarán los detalles del Hardware así como del Software necesario.

DISPOSITIVO CONTROLADOR

Dentro de la electrónica se tienen dos ramas principales de está, la electrónica analógica y la electrónica digital, el la primera se utilizan señales analógicas como lo son voltaje y corriente en magnitud, los cuales son controlados principalmente por transistores, triacs, Diacs, Diodos, entre otros elementos electrónicos, en la segunda se utilizan señales digitalizadas en donde tanto los valores de voltajes y corrientes ya están establecidos (± 5 , ± 12 , ± 15), estos voltajes y corrientes están controlados principalmente por compuertas, multiplexores, registros de corrimiento, decodificadores, entre otros elementos.

Para este caso se requiere utilizar la electrónica digital. Dentro de la electrónica digital también existe una división para el diseño de circuitos digitales, por un lado tenemos el diseño de circuitos mediante las funciones booleanas, mediante circuitos secuenciales o mediante el

método de transferencia lógica, para este caso requerimos realizar el diseño del circuito mediante circuitos secuenciales. Ahora bien un circuito lógico secuencial es un arreglo de lógica combinacional y elementos de memoria en el cual las salidas en el tiempo $t+1$ están en función de las entradas y de las condiciones del circuito en el tiempo t (Figura 5.18).

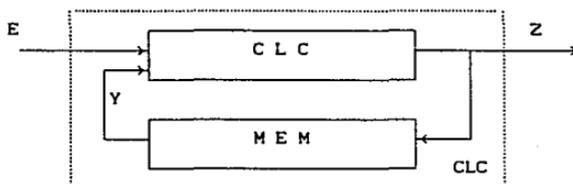


Figura 5.18 Circuito lógico combinacional

Dentro de esta clasificación existe otra división de los circuitos secuenciales, existen los circuitos secuenciales síncronos y los circuitos secuenciales modo pulso. (figura 5.19). En los circuitos secuenciales síncronos también llamados modo reloj son aquellos cuyos elementos de memoria son disparados por el mismo reloj.

Los circuitos secuenciales modo pulso no poseen un reloj propiamente si no que cambian de estado cada vez que se presenta un pulso a la entrada es decir cada pulso de entrada dispara un estado (el reloj podría ser una entrada extra).

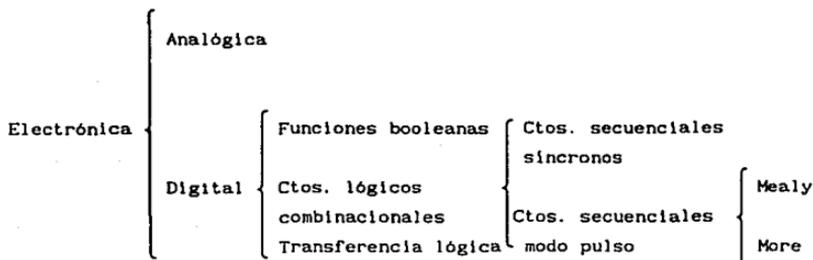


Figura 5.19 Ramas de la electrónica

Los circuitos secuenciales modo pulso tienen las siguientes características esenciales.

- 1.- Los pulsos de entrada debén ser lo suficientemente anchos para disparar un estado.
- 2.- No se pueden producir dos entradas simultaneas o que estén separadas en el tiempo por un espacio menor que la velocidad de respuesta de los elementos lógicos, estas dos características restringen el tiempo en estos circuitos.

Para el presente caso lo último no tiene problema ya que el sistema en cuestión es relativamente "lento".

Las salidas de los circuitos modo pulso pueden ser de dos formas:

Salida pulso

Salida nivel

De tal forma que encontramos dos modelos de los circuitos secuenciales modo pulso, el modelo Mealy que tiene entrada pulso y salida pulso (la salida está en función de la entrada y el estado anterior). El modelo Moore el cual tiene entrada pulso salida nivel (la salida está en función del estado) figura 5.20.

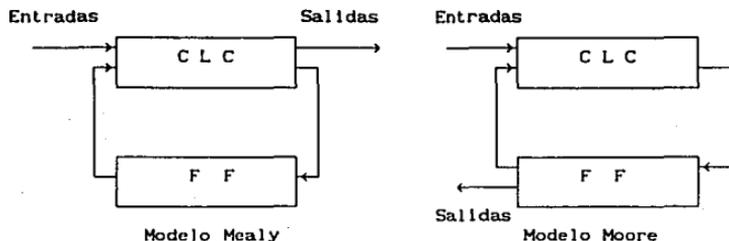


Figura 5.20 Tipos de circuitos

Los circuitos secuenciales modo pulso se trabajan un poco diferente a los circuitos secuenciales sincronicos existiendo un autómata o diagrama y una tabla de estados para cada uno de los dos modelos.

CARTAS ASM

Como se menciona en el parrafo anterior se necesita un diagrama para diseñar un circuito secuencial para lo cual se utilizan las cartas ASM.

Un algoritmo es una secuencia lógica de pasos (decisiones y acciones) que nos ayudan a resolver un problema determinado, un algoritmo puede ser descrito en base a un texto, diagrama de flujo o tablas.

Las características esenciales de un algoritmo son:

- 1.- Tener un número finito de pasos
- 2.- Cada paso debe de ser definido claramente
- 3.- Un algoritmo puede tener una o más salidas
- 4.- Puede no tener entradas

Las cartas ASM son simplemente cartas que describen el funcionamiento de una máquina secuencial, las cartas ASM se componen de dos elementos las cuales son, sus componentes y las señales de entrada y/o salida, dentro de sus componentes se tiene:

Bloque de estado el cual puede ser desde una máquina secuencial o solo una parte de ella y está descrita por su nombre y su código o asignación binaria, dentro del bloque de estado se listan las salidas que se activan en este estado, se indican además la transición de estados (figura 5.21).

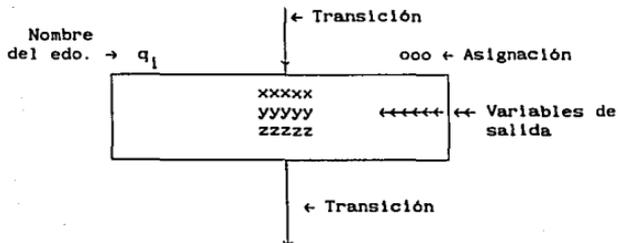


Figura 5.21 Bloque de estado

Diamante de decisión, contiene la variable de entrada la cual hay que "probar" además de la transición a la posible entrada (Figura 5.22).

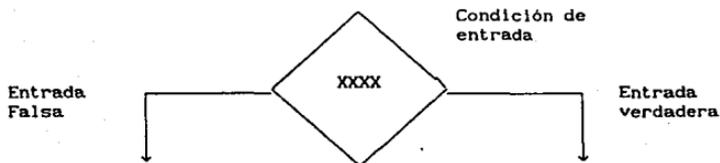


Figura 5.22 Diamante de decisión

Salidas condicionadas, una salida de un sistema digital puede depender ya sea del estado en que se encuentre la máquina secuencial (Modelo Moore) o depender de la entrada y del estado (Modelo Mealy). Estas últimas se representan en las cartas ASM como salidas condicionadas y casi siempre siguen a un diamante de decisión (Figura 5.23).

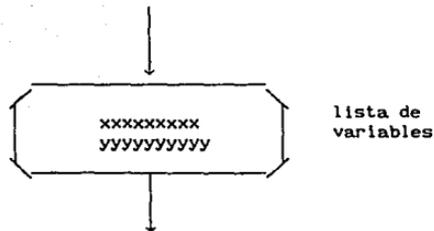


Figura 5.23 Salidas condicionadas

Bloque ASM, consiste en un bloque de estado y todos los diamantes de desición asociado a el asi como todas las salidas condicionales (Figura 5.24).

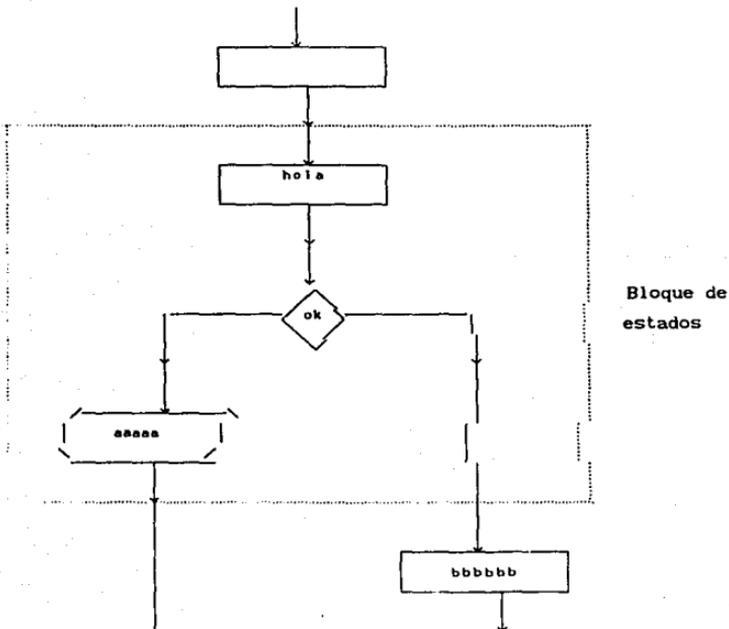


Figura 5.24 Bloque ASM

Un bloque ASM representa un solo periodo de tiempo es decir un bloque de estado tiene un intervalo de tiempo asociado a el que es un solo tiempo.

Con lo que respecta a las señales de entrada y salida es conveniente utilizar memónicos para nombrar a las variables de entrada y salida de cualquier sistema digital de tal forma que sea fácil recordar la función de estas variables, así como si es de entrada o salida.

Puesto que las señales de entrada pueden provenir de cualquier fuente estas pueden cambiar en cualquier instante de tiempo de tal forma que no estarán sincronizadas con la transición del reloj estas señales pueden causar problemas en la respuestá del circuito secuencial, sin embargo existen técnicas que nos ayudan a controlar estos casos, para el presente diseño no será necesario ya que de alguna manera las señales se pueden sincronizar.

PASOS DE DISEÑO

Con los antecedentes descritos anteriormente ya se puede diseñar el circuito que se necesita, sin embargo es necesario tener algún método para diseñar de manera correcta y efectiva para lo cual se sigulerón los siguientes pasos de diseño:

- 1.- Enunciar verbalmente el problema.
- 2.- Gencrar tantos diagramas de flujo como sea necesario hasta deflnir el problema.
- 3.- Desarrollar un diagrama de bloques del sistema que incluya todas las variables de entrada y salida (definir señales de control y su relación con el tiempo).
- 4.- Implementar cada bloque del diagrama anterior desarrollando:

- Un algoritmo
- Una carta ASM.
- El circuito lógico correspondiente.

A estos pasos de diseño se le pueden agregar algunas reglas que se debén seguir para realizar un buen diseño, entre las cuales tenemos:

- A- Diseñar de arriba-abajo (top-down)
- B.- Identificar claramente que es lo que se quiere controlar ya que esto es el fin del diseño. La estructura básica de un sistema digital se muestra en la Figura 5.25.

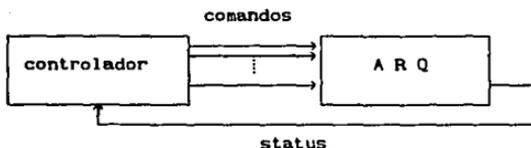


Figura 5.25 Sistema básico digital

Los comandos son las señales de control de la arquitectura y las líneas de status le dan al controlador la información de las condiciones de la arquitectura.

- C.- Documentar el diseño. Describir detalladamente cada uno de los pasos de diseño desde la problemática hasta los circuitos.

DISEÑO

Con la teoría ya antes descrita se tienen todos los elementos suficientes para realizar el diseño del controlador que se pretende realizar, el primer diseño que se realizará es el de las entradas y salidas, para seguir con el controlador y por último con el controlador de comunicaciones, este proceso incluye las interfases entre el controlador y la computadora, así como la del controlador y el equipo de laboratorio.

¹ Como primer paso se enunciarán verbalmente el problema a resolver, de donde se tienen los siguientes pasos:

I.- Calibración de analizadores.

- a).- El controlador manda una señal de calibración al analizador respectivo.
- b).- El analizador abre una electroválvula la cual manda el gas de calibración (N₂).
- c).- Se esperan dos minutos para que se establezca el analizador.
- d).- El analizador realiza el ajuste a cero y cierra la electroválvula.
- e).- El analizador manda al controlador una señal de que la calibración ha terminado correctamente.
- f).- El controlador manda una señal para que inicie la calibración del rango del analizador.
- g).- El analizador abre la electroválvula del gas del rango.
- h).- Se esperan dos minutos para que se establezca el analizador.

¹En este caso el diseño de las entradas y salidas se tomarán de una marca determinada de analizadores ya que no se sabe que tipo de analizadores se utilizarán.

- i).- El analizador realiza la calibración del rango el cual ha sido establecido previamente y se cierran las electroválvulas.
- j).- El analizador manda una señal al controlador de que la calibración del rango ha terminado correctamente.

2

Todo lo anterior se realiza con todos los analizadores del laboratorio.

II.- El controlador deja listos los analizadores, se apagan todas las bombas de manejo de gases.

III.- El controlador pide el status del CVS.

- a).- Bomba de desplazamiento positivo prendida.
- b).- Bombas de muestreo prendidas.
- c).- Electroválvulas cerradas.
- d).- Si todo lo anterior se cumple el CVS manda al controlador una señal de que el CVS está listo para su operación.

IV.- Se inicia la prueba.

- a).- Ayuda de manejo encendida.
- b).- Desde un control remoto se le indica a la ayuda de manejo que se inicio la prueba.

V.- Arranque en frío (505 segundos).

- a).- La ayuda de manejo empieza a generar la curva de manejo y controla al CVS.
- b).- El CVS comienza a muestrear el primer par de bolsas.

²Se deben tomar en cuenta los errores de salida de los analizadores y del CVS.

- c).- El controlador monitorea y controla a la ayuda de manejo por las infracciones causadas a la curva establecida.
- d).- La ayuda de manejo avisa cuando la prueba termina.

Los datos que recibe la computadora via controlador son:

- 1).- Durante la prueba.
 - Número y duración de las infracciones a la curva de manejo.
- 2).- Al final de cada fase.
 - Volumen desplazado através del CVS (Vmix).
 - Temperatura de gases del CVS.
 - Presión atmosférica CVS.

VI.- Estabilización en frío.

- a).- La ayuda de manejo empieza a generar la curva de manejo y controla al CVS.
- b).- El CVS deja de muestrear el primer par de bolsas y comienza con el segundo par de bolsas.
- c).- Después de cuatro minutos de haber terminado la primera fase la computadora via controlador toma las lecturas de todos los analizadores y los datos son almacenados en está.

Se siguen todos los pasos del inciso V.

VII.- La ayuda de manejo detiene el muestro del CVS.

- a).- Después de cuatro minutos de haber terminado la segunda fase la computadora via controlador toma las lecturas de todos los analizadores y los datos son almacenados en está.

- b).- Se hace una pausa de 10 minutos después de terminada la fase anterior.

VIII.- Arranque en caliente (505 segundos).

- a).- La ayuda de manejo se encarga de la curva de manejo y controla al CVS.
b).- El CVS muestrea el tercer par de bolsas.
Se siguen todos los pasos del inciso V.

IX.- Fin de la prueba.

- a).- La presión, temperatura y volumen de las tres fases se promedian.
b).- Se dan la temperatura de bulbo húmedo y seco vía computadora.
c).- Después de cuatro minutos de haber terminado la prueba se toman los datos de los analizadores, almacenando dichos datos.

Los pasos anteriores muestran claramente la problemática a resolver, algunos pasos no son importantes para el diseño ya que se tiene algo de inteligencia local, debido a que los analizadores cuentan con micro procesadores integrados y la ayuda de manejo controla parcialmente al CVS, por lo que se le quita trabajo al controlador.

Para realizar el diseño se tomaron en cuenta las siguientes premisas.

- Las señales analógicas son de 0-10 V y de 0-20 ma.
- El analizador elige automáticamente el rango de medición.
- La señal analógica es lineal y proporcional al rango.
- El analizador tiene salida para definir el rango en el cual está trabajando.

- Tiene salidas digitales para las señales de control.

Con los datos enunciados anteriormente se realizó el diagrama de flujo definitivo el cual se muestra en la figura 5.26, en el cual se detallan los estados, variables de entrada, variables de salida y señales de control internas.

Las señales de entrada que se utilizarán son:

- CC: Señal de inicio de prueba.
- OKC: Señal que le indica al controlador que el analizador K está calibrado correctamente.
- OKR: Señal que le indica al controlador que el analizador K tiene el rango correcto.
- OKS: Señal que le indica al controlador de que el CVS está listo para trabajar.
- OKI: Señal para iniciar las fases de la prueba.
- HIN: Señal que manda la ayuda de manejo señalando que existe una infracción a la curva de manejo.
- FPR: Señal que indica la finalización de la prueba.

Para las señales de salida se utilizarán las siguientes variables.

- CAK: Señal que manda el controlador a los analizadores para que el analizador K inicie el proceso de calibración.
- SRK: Señal que manda el controlador para que el analizador K inicie su calibración de rango.
- SCVS: Señal que se manda al CVS para pedir el status de este.
- AAN: Señal que se manda a los analizadores para que se inicie el proceso de análisis de gases.
- REG: Señal que se manda a la computadora para que registre la infracción que está en curso.

DCVS: Señal que se manda al CVS para que se lean los datos requeridos por el proceso.

AANI: Señal que se manda a los analizadores para que inicien el último análisis de gases.

Las señales de control utilizadas en el diseño fueron las siguientes:

IP: Señal que sirve para iniciar el estado del circuito.

CONZ: Señal que sirve para inicializar el código de los analizadores.

ESP: Señal que sirve para detener el proceso mientras que las señales se estabilizan.

COC: Señal que indica el K' esimo analizador.

IPR: Señal que detiene el proceso para que las variables se estabilicen e inicien la prueba.

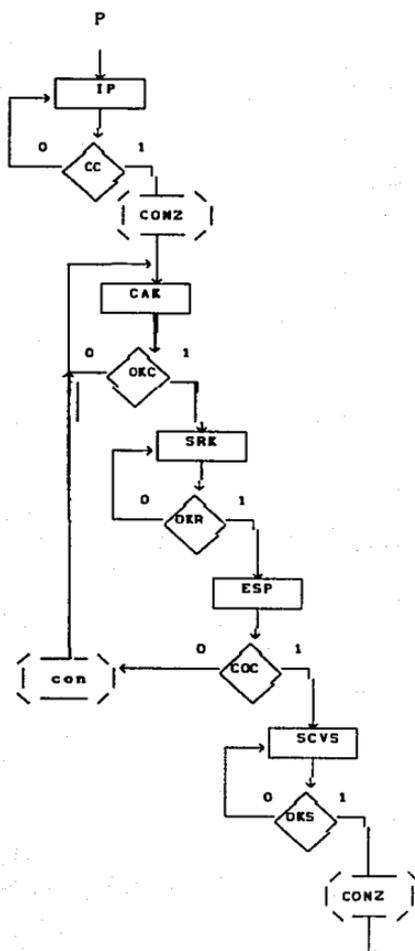
CP: Señal que sirve determinar un estado intermedio en la prueba.

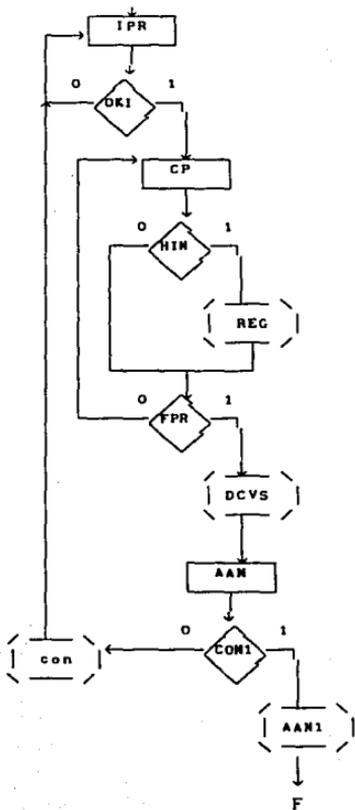
CON1: Señal que indica el número de fases que van en la prueba.

CON: Señal que se utiliza como codificador ya sea para los analizadores o para el número de fases de la prueba.

Con todo lo anterior se construyó una tabla de estados la cual muestra el movimiento de el controlador (Figura 5.27), como lo es su estado, variables de entrada, salida y sus variables de control.

Figura 5.26 Diagrama de flujo del circuito controlador





Edo. actual			ENTRADAS								Edo. sig.			SALIDAS														
A	B	C	CC	OKC	OKR	COC	OKV	OKI	HIN	FPR	CON1	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	0	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	*	0	*	*	*	*	*	*	*	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	*	1	*	*	*	*	*	*	*	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	*	*	0	*	*	*	*	*	*	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	*	*	1	*	*	*	*	*	*	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	1	*	*	*	1	*	*	*	*	*	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	*	*	*	*	0	*	*	*	*	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	*	*	*	*	1	*	*	*	*	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	*	*	*	*	*	0	*	*	*	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	*	*	*	*	*	1	*	*	*	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	*	*	*	*	*	0	0	*	*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	*	*	*	*	*	1	0	*	*	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0

De donde las salidas son :

- | | |
|-----------|--------------------------|
| 1 .-IP | 2 .-CAK |
| 3 .-SRK | 4 .-ESP |
| 5 .-SCVS | 6 .-IPR |
| 7 .-CP | 8 .-REG |
| 9 .-DCVS | 10 .-AAN |
| 11 .-AAN1 | 12 .-CONZ |
| 13 .-CON | * .-no importa su valor. |

Figura 5.27 Tabla de estados del circuito controlador

Qt	Qt+1	J	K	
0	0	0	*	Como se observa en la
0	1	1	*	tabla de excitación
1	0	*	1	existen muchos estados
1	1	*	0	con estados de "no
				importa" por lo cual
				es apropiado para el
				diseño.

Figura 5.28 Tabla de excitación

Para el diseño del circuito se optó por utilizar Flip-Flops del tipo J K, ya que tienen muchos estados "no importa" como se muestra en su tabla de excitación (Figura 5.28). Teniendo todo lo anterior se procedió a realizar las ecuaciones del circuito, esto se logró mediante una reducción de la tabla con mapas de Karnaugh de donde se dieron las siguientes ecuaciones:

Las ecuaciones de estado del circuito son las siguientes:

A B					A B				
C	00	01	11	10	C	00	01	11	10
0	0	0	*	*	0	*	*	0	0
1	0	COC	*	*	1	*	*	CON1	0

De donde las ecuaciones de estado del primer Flip-Flop son las siguientes:

$$J_a = COC \bar{A}BC$$

$$K_a = CON1 ABC$$

Estas son las ecuaciones de entrada para el primer Flip-Flop.

A B					A B				
C	00	01	11	10	C	00	01	11	10
0	0	•	•	0	0	•	0	0	•
1	OKC	•	•	OKI	1	•	1	1	•

Las ecuaciones de entrada para el segundo Flip-Flop es:

$$J_b = OKC \bar{A}\bar{B} + OKI \bar{A}\bar{B}$$

$$K_b = C$$

A B					A B				
C	00	01	11	10	C	00	01	11	10
0	CC	OKR	FPR	OKS	0	•	•	•	•
1	•	•	•	•	1	OKC	COC	CON1	OKI

De donde las ecuaciones de entrada del tercer Flip-Flop son las siguientes:

$$J_c = CC \bar{A}\bar{B} + OKR \bar{A}\bar{B} + OKS \bar{A}\bar{B} + FPR \bar{A}\bar{B}$$

$$K_c = OKC \bar{A}\bar{B} + COC \bar{A}\bar{B} + OKI \bar{A}\bar{B} + CON1 \bar{A}\bar{B}$$

Estas son las entradas a los Flip-Flops, por lo que solo resta realizar las ecuaciones de las salidas y variables de control.

De donde se obtuvieron los siguientes mapas y ecuaciones.

$\frac{A B}{C}$	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	0	0	0	0

$\frac{A B}{C}$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0

$$\bullet \text{ IP} = \overline{ABC}$$

$$\text{CAK} = \overline{ABC}$$

$\frac{A B}{C}$	00	01	11	10
0	0	1	0	0
1	0	0	0	0

$\frac{A B}{C}$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	1	0	0

$$\text{SRK} = \overline{ABC}$$

$$\bullet \text{ ESP} = \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	0	0	0	0

$$\text{SCVS} = \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1

$$\bullet \text{ IPR} = \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	0	0	0

$$\bullet \text{ CP} = \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	HIN	0
1	0	0	0	0

$$\text{REG} = \text{HIN } \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	FPR	0
1	0	0	0	0

$$\text{DCVS} = \text{FPR } \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0

$$\text{AAN} = \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	0	CON1	0

A B				
C	00	01	11	10
0	CC	0	0	OKS
1	0	0	0	0

$$AAN1 = CON1 \overline{ABC}$$

$$CONZ = CC \overline{ABC} + OKS \overline{ABC}$$

A B				
C	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	COC	CON1	0

$$CON = \overline{COC} \overline{ABC} + \overline{CON1} \overline{ABC}$$

Estas son todas las ecuaciones de salida y de control que se necesitan para que el controlador funciones adecuadamente, no todas las ecuaciones son necesarias, las ecuaciones que esten marcadas con (*) no son relevantes ya que solo son de transición o para detener el proceso por lo cual no entraran en el diseño.

Dadas todas las ecuaciones de diseño se procede a realizar el dispositivo controlador, pero antes de esto se tiene que realizar una revisión de las condiciones electrónicas de comunicaciones, por lo cual se realiza el análisis pertinente a continuación.

HARDWARE

Una computadora se comunica con el mundo exterior a través del uso de dispositivos periféricos de entrada/salida (Input.output I/O). Los periféricos comunmente son los teletipos, lectoras de papel, lectoras de tarjetas, display's CRT, cintas magnéticas, discos y algunos otros dispositivos que se desean controlar.

Cuando se conectan a una computadora uno o más dispositivos de I/O, se requiere de una red de interfase para cada dispositivo, llamada "interface de periférico".

Esta interfase es necesaria para convertir información que ha sido transferida del periférico a la computadora en un formato compatible al manejado por está, durante el proceso inverso se convierte la información de la computadora al formato requerido por el periférico para su manejo.

Cuatro son las funciones esenciales de una interface de periférico: Almacenamiento, decodificación de direcciones o selección de dispositivos, comandos decodificadores y un control de tiempos. El proceso de almacenamiento es necesario para la adecuación de los formatos utilizados entre la computadora y el periférico. La decodificación de direcciones se requiere para seleccionar el dispositivo de I/O en sistemas en los cuales se tiene más de un periférico. Los comandos decodificadores prové a algunos sistemas dispositivos que realizan otras funciones adicionales a la transferencia de datos. Finalmente cada una de estas funciones requiere de un control de tiempos.

TÉCNICAS DE TRANFERENCIA DE DATOS

La transferencia de datos que ocurre entre una computadora y los dispositivos periféricos se puede dar en una de dos categorías, "Transferencia de datos programada" o

"transferencia por robo de ciclo". En la primera el intercambio es controlado por un programa de la computadora, el cual se encarga de la transferencia, una palabra en un tiempo entre la computadora y el dispositivo de I/O. En la segunda la transferencia es controlada por el propio dispositivo.

1.- Transferencia programada

El periférico es atendido a la conveniencia de la computadora, es decir, siempre que las instrucciones de I/O aparezcan para ser ejecutadas en la secuencia del programa normal.

1.1- Interrupciones

Este método toma la transferencia de datos según la conveniencia del dispositivo externo, es decir, el servicio se inicia tan pronto el periférico requiera la rutina de I/O en lugar de la computadora.

2.- Transferencia por robo de ciclo

Este método también llamado Direct Memory Acces (DMA), es muy rápido y eficiente para transferir grandes bloques de información tal como cuando se transfieren datos a discos o cintas. Es similar al método de interrupciones en el sentido de que el servicio es iniciado inmediatamente al requerimiento del dispositivo, pero en lugar de tener un Software para supervisar la transferencia está es hecha por el Hardware completamente.

La transferencia de datos programada es comunmente usada en todos los sistemas de micros.

Los dispositivos periféricos generan y aceptan datos en formatos paralelo, serie y en algunas ocasiones entradas o salidas analógicas como es el voltaje o corriente, en estos casos se usan convertidores A/D y D/A, en estas circunstancias todos bits se mandan o reciben simultaneamente (en forma paralela).

MULTIPLEXIÓN DIGITAL

Las señales que provienen de varias fuentes se pueden combinar mediante un multiplexor digital, utilizando el proceso de intercalación. La salida del multiplexor se codifica en pulsos electrónicos, para el propósito de transmisión a través de una línea digital. Existen varias formas posibles para esto. Conceptualmente, la transmisión más simple es la de encendido-apagado, donde 1 se transmite mediante un pulso y 0 se transmite mediante ningún pulso. Existen otros tipos de codificación de pulsos como el polar y la bipolar los cuales tienen características que no son útiles para el presente caso.

Ciertas señales de bajo índice de bit (baja velocidad), pueden multiplexarse, o combinarse para formar una señal de alto índice de bit para su transmisión a través de un medio de alta frecuencia en donde un canal se usa en forma compartida por varias señales entrantes. Las señales que provienen de varios canales de entrada pueden ser de naturaleza tan diversa como una señal de voz digitalizada, la salida de una computadora, datos de telemetría y otros. El índice de bits o velocidad de transmisión de las diferentes entradas no necesita ser el mismo para el buen multiplexaje de las señales ya que solo es necesario coordinar los tiempos de entrada y salida de cada señal.

INTERFASE

La conexión de diferentes tipos de circuitos, diferentes unidades analógicas o digitales, y entradas o cargas a otras componentes electrónicas requieren alguna clase de interface. Los circuitos de interfase se pueden agrupar en diferentes categorías bien como excitadores o como unidades receptoras.

Un tipo de interfase que es bastante importante se presenta cuando es necesario conectar señales de diversas terminales en un sistema digital. Las señales de estos dispositivos como teletipos, terminales de video, lectoras de tarjetas, o impresoras de línea son usualmente unas de las principales señales digitales. La industria electrónica en su estandar más popular las refiere como RS-232-C. Los detalles completos de las condiciones de señal esperada para este estandar son simplemente como señales binarias de donde se representa el uno (1) como un nivel de voltaje de - 12 V y el cero (0) como un nivel de voltaje de + 12 V. Los circuitos TTL operan con señales definidas como + 5 V como uno (1) y 0 V como cero (0). Lo anterior se representa en la tabla 5.29

	corriente	RS-232-C	TTL
uno	20 ma	- 12 V	+ 5 V
cero	0 ma	+ 12 V	0 V

Figura 5.29 Niveles de voltaje y corriente

CONVERSION RS-232-C A TTL

Si una unidad tiene una salida definida por RS-232-C y tiene que operar en otra unidad con niveles de señal TTL, se podría usar el circuito de interfase de la figura 5.30 Una salida de uno (1) - 12 V serie sujeta por el diodo de tal manera que la entrada del circuito inversor sea cercana a 0 V obteniéndose una salida de + 5 V o un nivel de uno (1) TTL. Una salida de cero (0) en + 12 V excitaría la salida del inversor a su nivel bajo para un cero (0) 0 V TTL.

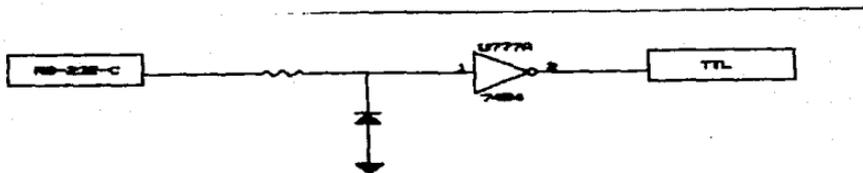


Figura 5.30 Conversión RS-232-C a TTL

Se pueden considerar otro tipo de circuitos de interface que también son representativos. Otros medios de realizar la interface con señales digitales es utilizar salidas TOTEM-POLE, de colector abierto y salidas separadas tres-estados. Las salidas TOTEM-POLE son las salidas normales de cualquier circuito TTL, mientras que cuando la señal es sacada del colector de un transistor la cual no está conectada a otra componente electrónica la salida es en colector abierto. Esto permite conectar un número de señales al mismo alambre de señal o a la misma barra de señal. Entonces cualquier transistor que llegue al estado de conducción proporciona una señal de salida baja que todos los transistores cortados proporcionan una señal alta.

Una conexión igualmente popular para conectar un número de señales digitales a una barra comun utiliza salidas tres estados. La señal puede ser de alto nivel, bajo nivel o de circuito abierto. Con esta conexión

circuitos los diversos circuitos lógicos conectados a la línea común necesitan ser orientados por compuerta para que solamente un circuito pueda operar la barra mientras que las otras salidas están en circuito abierto al mismo tiempo (Figura 5.31).

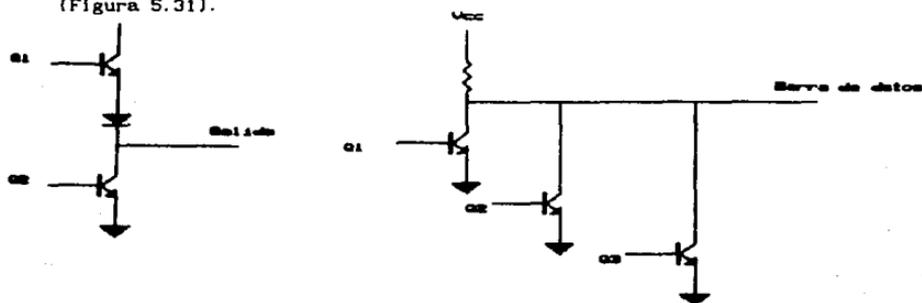


Figura 5.31 Tipos de acoplamiento entre circuitos

CIRCUITO DEL CONTROLADOR

Teniendo las ecuaciones de diseño y tomando en cuenta lo antes mencionado ya se puede realizar el circuito del controlador. El cual se encuentra expresado en el diagrama electrónico que se muestra en la figura 5.32.

El circuito electrónico del controlador funciona de la siguiente manera. Para inicializar el circuito el operador activa el controlador presionando el botón de inicio, con lo que se activa la variable IP, esta sigue activa hasta que llega la señal de calibración de analizadores la cual es activada por el operador(CC). al detectar esta señal se activa CONZ y se manda inicializar la codificación de los analizadores, se activa CAK, la cual manda una señal al analizador respectivo para que inicie su calibración, esta señal permanece hasta que el analizador en calibración manda su señal de que la calibración ha sido completa la cual es captada por la señal OKC, el controlador al detectar esta

señal manda inmediatamente la señal de calibración de rango al analizador respectivo por medio de la señal SRK, esta señal permanece activada hasta que el controlador manda su señal de que la calibración de rango ha terminado, esto se realiza mediante la señal OKR, luego de esto se realiza una pausa obligatoria debido a la naturaleza del circuito (ESP), con lo anterior se ha terminado la calibración de un analizador, el controlador a través de la variable COC determina que analizador sigue en el proceso de calibración.

La variable COC le indica al controlador cuando la calibración de todos los analizadores ha terminado, en este momento se realiza la revisión del status del CVS, esto se logra mediante la variable SCVS, la cual va del controlador al CVS y pide el status del mismo, este responde cuando está listo para trabajar y lo registra el controlador mediante OKS, al activarse esta señal se activa CONZ la cual en esta ocasión inicializa el número de fases de la prueba, terminado esto se activa una señal de pausa la cual es IPR, esta señal indica que el controlador está listo para el inicio de la prueba, la cual se envía por medio de la ayuda de manejo, esta señal es detectada por el controlador por medio de la variable OKI.

Al activarse la señal anterior prácticamente la prueba ha empesado, esto se registra mediante la señal CP la cual está activa hasta que se registra una infracción o se termina una fase de la prueba, si se registra una infracción está es detectada por medio de HIN la cual activa a REG. Esta señal es transmitida a la computadora para indicarle que se van a transmitir datos a esta, cuando la computadora responde a este llamado del controlador, pide los datos de la ayuda de manejo y los almacena en disco.

Si se termina alguna de las fases de la prueba se activa la señal FPR la cual a su vez activa la señal DCVS la cual activa a la computadora y pide al CVS los datos correspondientes a la fase de la prueba como lo es el volumen, temperatura y presión, estos datos deben ser transmitidos a la computadora para ser almacenados

Inmediatamente después de activarse DCVS se activa la señal AAN la cual es transmitida a los analizadores para que realicen el análisis de gases, esta misma variable activa la computadora para que realice un control de tiempos, esto es el analizador tarda aproximadamente cuatro minutos en estabilizar las lecturas de los gases, por lo tanto después de cuatro minutos de activados los analizadores se deben tomar lecturas, este tiempo lo controla la computadora.

Luego de esto se pregunta por la variable CON1 la cual lleva el control del número de fases de la prueba, si ya se terminaron todas las fases de la prueba se activa la señal AAN1 la cual activa por última vez los analizadores, si la prueba aún no termina el controlador activa la señal CON lo que indica que la siguiente fase de la prueba ha comenzado.

Para tener completo el análisis del diseño falta analizar las entradas y salidas del controlador, como se mencionó anteriormente las señales de salida de los analizadores son analógicas y algunas digitales por lo que es necesario realizar una conversión de las señales ya que el controlador acepta señales de entrada y salida digitales, así como la computadora.³

Para el diseño se tiene que algunas señales que entran al controlador y a la computadora son señales analógicas y otras digitales, por lo que se tienen que adecuar dichas señales para que el sistema trabaje adecuadamente.

Realizando un breve repaso de las señales de entrada al controlador se tiene que en el diagrama que se muestra en la figura 5.33 se muestran con detalle estas.

La señal OKC parten de un multiplexor de 8X1 en el cual llegan las señales de "calibración completa" de todos los analizadores, el analizador en cuestión es controlado por un contador módulo 6, el cual funge como decodificador de los analizadores.

³No se muestra en este diseño ya que no se sabe que equipo se utilizará.

La señal OKR es similar a la OKC solo que se toman en cuenta las señales de "rango calibrado".

Para las señales de salida se muestra también su diagrama respectivo en donde lo más relevante es que la señal CAK es colocada en un multiplexor de 8X1 la cual va a la línea de petición de calibración del analizador respectivo, el cual es controlado por un contador módulo 6. Lo mismo ocurre con la señal SRK la cual pide que se calibre el rango del analizador.

En el diagrama electrónico que se muestra a continuación se tiene lo anteriormente mencionado (Figura 5.34).

CONVERTIDORES ANALÓGICOS/DIGITALES Y DIGITALES/ANALÓGICOS

Los convertidores Analógicos/Digitales y los Digitales/Analógicos son importantes ya que últimamente la computadora esta siendo una herramienta importante para el procesamiento de información, esto ha traído como consecuencia que muchas señales analógicas tengan que adecuarse para ser procesadas por computadora.

Las formas de conversión Analógico/Digital son variadas y sus características diferentes, por lo cual para un problema específico existe un convertidor adecuado, entre los convertidores más usados tenemos:

- Comparador paralelo.
- Aproximaciones sucesivas.
- Contador de rampa.
- Doble rampa o doble integración.

También existe convertidores Digitales/Analógicos cuya función principal es convertir las señales digitales de una computadora a señales analógicas reconocibles por el dispositivo a controlar, existen varias formas para realizar está conversión pero la más usual es la de red deescalera.

Figura 5.33 Entradas al dispositivo controlador

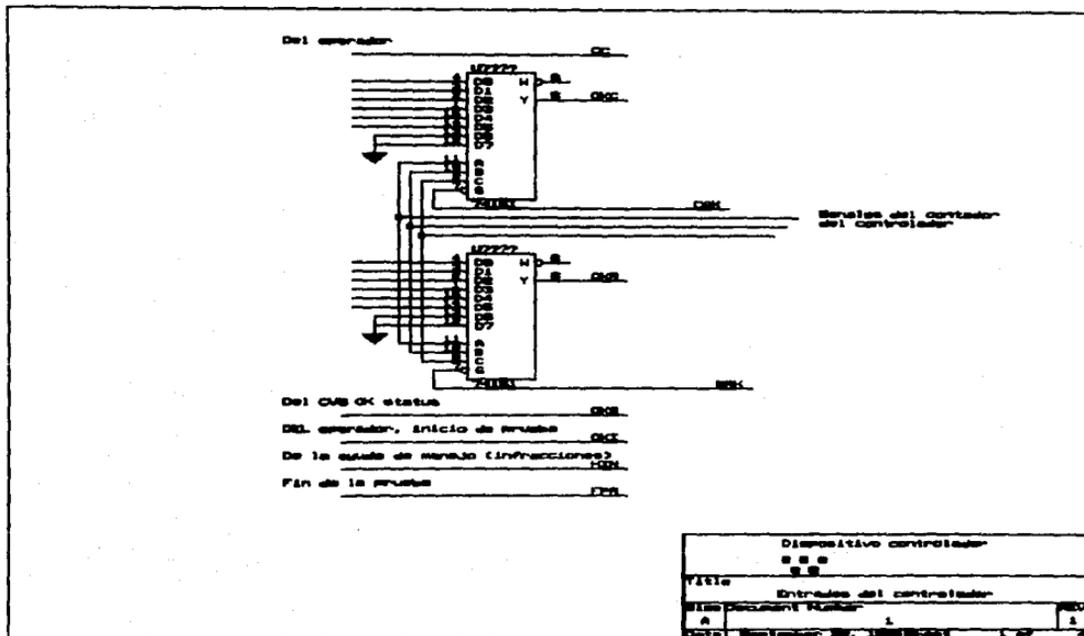
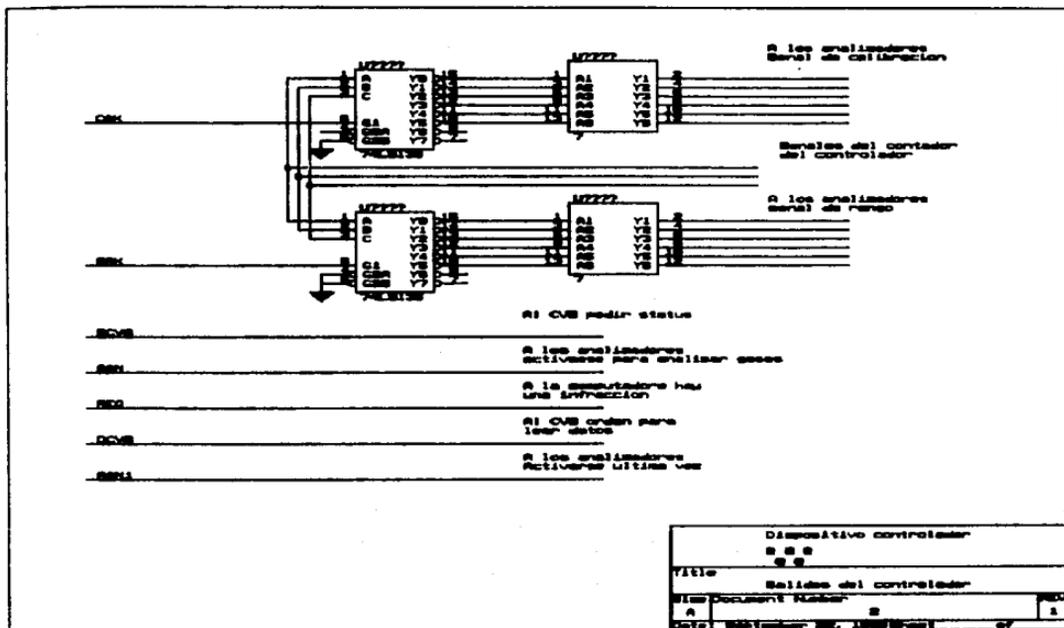


Figura 5.34 Salidas del dispositivo controlador



CIRCUITO DE COMUNICACIONES

Por otro lado se tiene que los aparatos del laboratorio tienen necesidad de comunicarse con la computadora para almacenar datos del proceso, por lo cual es necesario que los datos de los analizadores y los de la computadora se adecuen para su comunicación. Esta adecuación también incluya las salidas del controlador para con los niveles de voltaje y corriente de entrada de los analizadores, CVS, ayuda de manejo y la computadora.

Esta función no la realiza el controlador propiamente dicho por lo que es necesario crear un circuito de comunicaciones entre controlador y computadora, este circuito es activado por algunas de las señales de salida del controlador y algunas señales de la computadora.

Este circuito está controlado por cinco señales, cuatro provienen del controlador y la otra de la computadora, las señales que provienen del controlador son REG, DCVS, AAN y AAN1. La primera registra las infracciones cometidas por el usuario y son registradas por la computadora, se considero que la ayuda de manejo manda dos byte's de información en la cual señala lo datos de la infracción, estos dos byte's son los que son transmitidos a la computadora.

La segunda señal DCVS le indica al controlador que se ha terminado una fase de la prueba y la computadora debe de leer los datos proporcionados por el CVS (temperatura, presión y volumen), se supuso que cada dato transmitido ocupa 2 byte's.

Las dos últimas señales AAN y AAN1 le indican a la computadora que debe de ejecutar un programa de control de tiempos el cual tiene como objetivo dar tiempo a los analizadores para estabilizar las lecturas de los gases (cuatro minutos aproximadamente).

La última señal es una señal proveniente de la computadora, realmente son varias señales, las cuales decodifica el controlador e indica que dato va a ser transmitido para su almacenamiento, una de estas señales le

indican al controlador que ya han pasado 4 minutos desde que termino la ultima fase de la prueba, está señal es para realizar las lecturas de los analizadores, los datos de estos se configurarán de la siguiente manera. Se realiza la transmisión de 2 byte's por cada lectura del analizador, en el primer byte los 3 primeros bits son la identificación del rango en el cual el analizador esta trabajando , los siguientes 3 bits son la identificación de los analizadores (la codificación se muestra en la tabla 5.35) está trabajando y los 2 últimos bits no son usados. En el segundo byte de información se transmite el dato del analizador (figura 5.36).

Codificación de los analizadores	Analizador de
0 0 0	HC
0 0 1	CO
0 1 0	CO ₂
0 1 1	CO ₂
1 0 0	NO _x
1 0 1	
1 1 0	Ayuda de manejo
1 1 1	CVS

Figura 5.35 Codificación de dispositivos

En el circuito de comunicaciones antes de enviar los datos a transmitir se envia un byte de información el cual indica a la computadora que dispositivo va a transmitirle información, como respuestá la computadora manda un byte en donde autoriza a dicho dispositivo a transmitir, terminada la transmisión se manda otro byte para cancelar la autorización anterior.

Byte de información

REG	SCV	AAN	AAN	0	0	0	0
-----	-----	-----	-----	---	---	---	---

Byte de respuesta

AY	CV	AN	0	0	0	0	0
----	----	----	---	---	---	---	---

Información de la ayuda de manejo

x	x	x	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---

x	x	x	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---

Información del CVS

x	x	x	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---

x	x	x	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---

Información de los analizadores

R	R	R	A	A	A	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

x	x	x	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---

De donde :

- R. - Rango
- A. - Analizadores
- x. - Información

Figura 5.36 Codificación de los datos de comunicaciones

Para todo lo anterior se tomaron las siguientes premisas:

- La salida de la ayuda de manejo (infracciones) son digitales y en serie.
- La salida del CVS son digitales y en serie.
- La salida de los analizadores se adecuan a un voltaje de 0-5 V.
- Se supone como velocidad de transmisión de la ayuda de manejo y CVS de 2,200 bits/Seg.
- El muestreo se realiza cada medio segundo para el controlador.

Es importante señalar que el circuito de comunicaciones utiliza dos ROM's una la ocupa para el control de las comunicaciones en general y la otra para la transmisión y recepción de los bits de información así como la de los de inicio y paro, ya que no se genera bit de paridad.

Este circuito establece prioridades de atención para con los dispositivos, el que tiene la máxima prioridad es la ayuda de manejo, le sigue el CVS y por último los analizadores, el dispositivo que no es atendido queda en estado de espera hasta que el controlador lo atiende.

Lo anterior es posible gracias a que el sistema en cuestión es "lento" y cada medio segundo es muestreado, tiempo suficiente para leer los datos necesarios de los dispositivos.

El controlador de comunicaciones se basa en el diagrama de flujo que se muestra en la figura 5.37, en el se establecen las condiciones de transmisión, para el controlador de transmisiones se muestra en la figura 5.38 su diagrama de flujo respectivo.

El programa respectivo de la ROM para ambos casos se muestra en las figuras 5.39 y 5.40.

Para realizar todo lo anterior se siguieron los pasos para el diseño del controlador.

Con esta última parte se termina el diseño del HARDWARE y se muestra un diagrama del controlador completo (figura 5.42).

A continuación se realizarán los programas necesarios para que el sistema funcione adecuadamente. Es importante señalar que algunas de las señales de entrada y salida de los analizadores, CVS y ayuda de manejo se suponen ya que aún no se tiene el dato preciso de que equipo se va a utilizar en el laboratorio. Sin embargo estas señales se pueden adecuar para que el diseño funcione correctamente.

SOFTWARE

CONTROLADORES DE DISPOSITIVOS Y SISTEMA

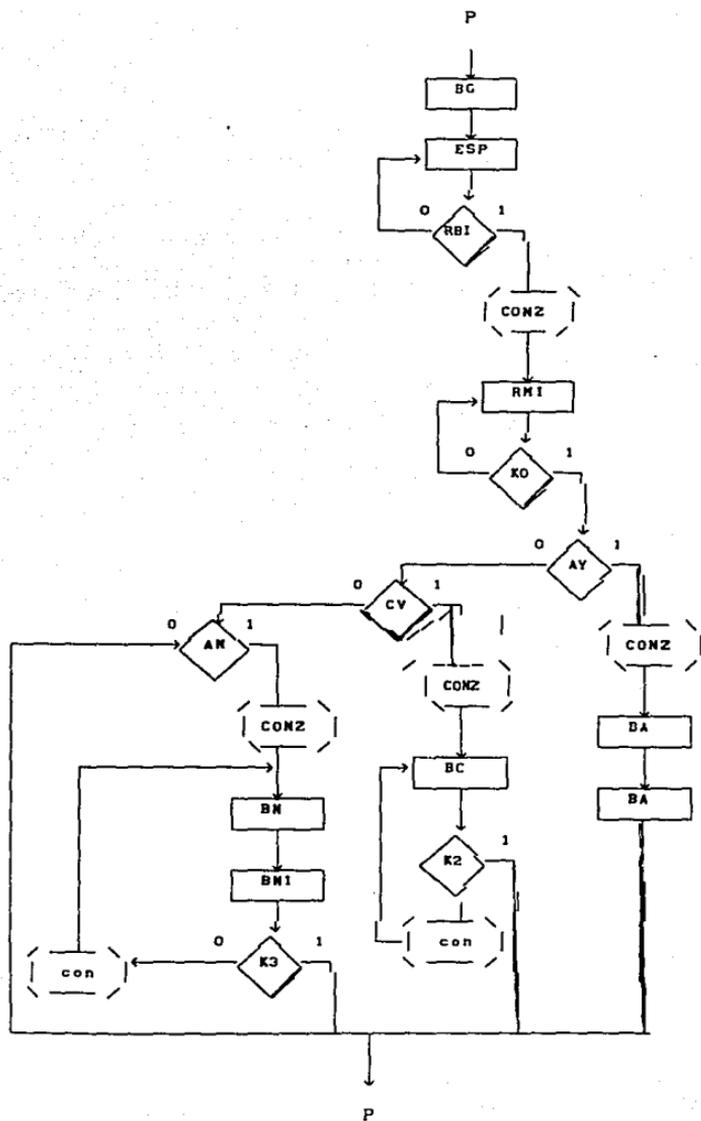
Hay dos tipos de controladores en un sistema de computadora: los controladores del sistema y los controladores de dispositivos.

Los controladores del sistema se encargan de controlar automáticamente funciones especiales del sistema como la transferencia rápida de bloques de datos o la coordinación de varias interrupciones como lo es el DMA, o el controlador programable de interrupciones.

Los controladores de dispositivos hacen interfaz inteligente con los dispositivos externos como unidades de disco, teclados e impresoras. Se pueden dividir en dos grupos: los controladores de dispositivo de propósito general y los dispositivos especiales.

Para que cualquier dispositivo se comunique con la computadora es necesario que los datos del controlador del dispositivo sean transmitidos a la computadora, que está los recibe y procesa, para lograr lo anterior es necesario realizar los programas necesarios para la comunicación entre

Figura 5.37 Diagrama de flujo de las comunicaciones



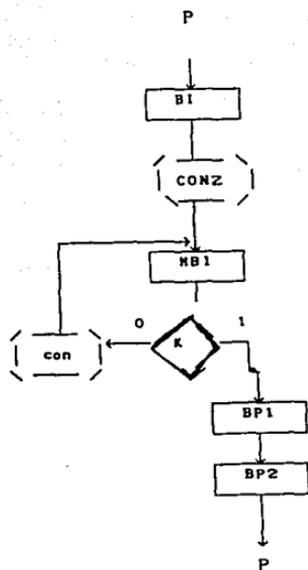


Figura 5.38 Diagrama de flujo de las transmisiones

A B C	RBI KO AY CV AN K2 K3	A B C	S0 S1 S2 CZ CON
0 0 0	* * * * *	0 0 1	0 0 0 0 0
0 0 1	0 * * * *	0 0 1	0 0 1 0 0
0 0 1	1 * * * *	0 1 0	0 0 1 1 0
0 1 0	* 0 * * *	0 1 0	0 1 0 0 0
0 1 0	* 1 1 0 0 *	0 1 1	0 1 0 1 0
0 1 0	* 1 0 1 0 *	1 0 1	0 1 0 1 0
0 1 0	* 1 0 0 1 *	1 1 0	0 1 0 1 0
0 1 0	* 1 0 0 0 *	0 0 0	0 1 0 0 0
0 1 1	* * * * *	1 0 0	0 1 1 0 0
1 0 0	* * * * *	0 0 0	1 0 0 0 0
1 0 1	* * * * 0 *	1 0 1	1 0 1 0 1
1 0 1	* * * * 1 *	0 0 0	1 0 1 0 0
1 1 0	* * * * *	1 1 1	1 1 0 0 0
1 1 1	* * * * * 0	1 1 0	1 1 1 0 1
1 1 1	* * * * * 1	0 0 0	1 1 1 0 0

Nota: Los estados con (*) deben ser rellenados con 0 o 1 para la programación de la ROM.

Figura 5.39 Programa de la ROM para comunicaciones

A B	K	Dir	A B	BI	CZ	MBI	BP1	BP2	CO	Con.
0 0	0	00	0 1	1	1	0	0	0	0	70h
0 0	1	01	0 1	1	1	0	0	0	0	70h
0 1	0	02	0 1	0	0	1	0	0	1	49h
0 1	1	03	1 0	0	0	1	0	0	0	88h
1 0	0	04	1 1	0	0	0	1	0	0	C4h
1 0	1	05	1 1	0	0	0	1	0	0	C4h
1 1	0	06	0 0	0	0	0	0	1	0	02h
1 1	1	07	0 0	0	0	0	0	1	0	02h

Figura 5.40 Programa de la ROM para transmisiones

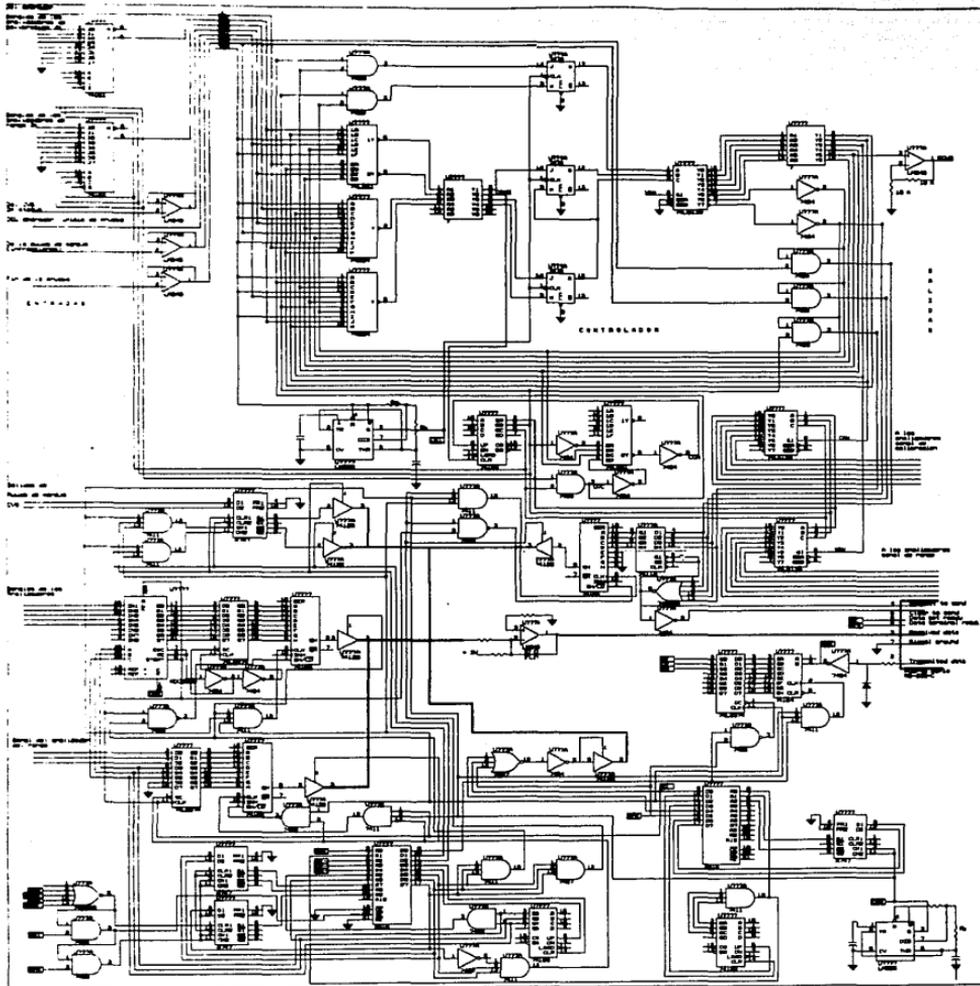


Figura 3-42 Circuito elettronico del dispositivo controllato

controlador-computadora.

Para obtener lo anterior es necesario realizar la programación del controlador programable de interrupciones y el controlador de comunicaciones de la computadora.

CONTROLADOR PROGRAMABLE DE INTERRUPCIONES 8259

El controlador programable de interrupciones 8259 (PIC Programmable Interrupt Controller) se usa para generar interrupciones de hasta ocho dispositivos distintos, y de hasta 64 dispositivos si se conectan ocho chips 8259 juntos. El PIC 8259 actúa como moderador hacia el CPU, este se encarga de realizar la programación de los trabajos de I/O al CPU respetando ciertas prioridades. Cada dispositivo tiene una línea de interrupciones que es una de las ocho líneas que tiene el circuito.

El 8259 puede programarse para que ignore o controle cualquier combinación de estas líneas. Esta selección se determina a través de lo que recibe el nombre de máscara de interrupciones, la cual es un byte que envía el CPU al PIC a través de un puerto de control. Los ocho bits de la máscara corresponden a los ocho dispositivos. Si se quieren ignorar las interrupciones de un dispositivo determinado, basta con poner a 1 el bit de la máscara de interrupciones asociado a dicho dispositivo. Así si la máscara es 11111111, el 8259 ignorará las interrupciones procedentes de todos los dispositivos y si la máscara es 00000000 responderá a todos los dispositivos.

Si al 8259 le llegan señales de dos o más dispositivos a la vez el 8259 determina a quien debe atender primero de acuerdo con ciertos esquemas definibles por el sistema y otros definidos por el usuario.

En dichos esquemas se incluye una prioridad determinada. El dispositivo al que no se atiende espera turno en una área de recepción del propio 8259. Cuando el dispositivo es

atendido el 8259 lo saca de esta área de espera y lo lleva a la de trabajo.

Hay una línea de interrupción que va del 8259 a la línea de interrupción INTR (interruption Request: petición de interrupción) del CPU. Cuando el CPU recibe una petición por esta línea, envía una señal de "enterado" por la línea INTA, luego el 8259 envía un byte en donde determina que tipo de interrupción debe ejecutarse. En algunos casos la interrupción tiene una dirección ya definida y en otros casos es totalmente programada por el usuario.

Las líneas de interrupciones con las que cuenta el 8259 se muestran en la tabla 5.42

IRQ0	Tick del sistema
IRQ1	Teclado
IRQ2	Disponibile
IRQ3	Interface de comunicación, COM2
IRQ4	Interface de comunicación, COM1
IRQ5	Disponibile
IRQ6	Controlador de disco 5 1/4
IRQ7	Impresora

Figura 5.43 Líneas de interrupciones

Los puertos de control del 8259 son el 20H y el 21H, el 20H es el de fin de interrupción y el 21H es de registro de máscara.

CONTROLADOR DE COMUNICACIONES

El controlador de comunicaciones 8250 es un elemento de comunicaciones, con el cual la computadora envía los datos bit a bit. Esto se le llama una transmisión serie. La transmisión serie se prefiere sobre la transmisión paralelo en aquellos casos en los que la información debe transmitirse a grandes distancias. Esto se debe a varias razones: el

enviar 1 bit cada vez requiere menos cable, las líneas serie transmite a velocidades menores, provocando menos errores debido al ruido, y, finalmente las transmisiones serie son fácilmente codificables y decodificables para su envío por línea telefónica. Para ello se utiliza el modem.

Puesto que la computadora trabaja internamente con los datos en paralelo se necesita un controlador serie de interface para pasar de paralelo a serie. Un dispositivo de este tipo recibe el nombre de receptor/transmisor asincrónico universal (UART: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

Cuando hay un byte preparado para su transmisión, se envían 1 o 2 bits indicando que los bits siguientes pertenecen a un byte de información. Estos bits reciben el nombre de bits de inicio. Cuando se han enviado todos los bits del byte de información se termina la transmisión con unos bits de paro. Se suelen necesitar 10 bits para enviar un carácter de esta manera.

Algunas de las características del chip 8250 son:

- Agrega y quita los bits de inicio, fin y paridad.
- Maneja cuatro tipos de interrupciones
 - Transmisión
 - Recepción
 - Error
 - Señal de modem
- Velocidad programable
- Maneja seis señales de modem
 - RTS, CTS, DSR, DCD, DTR, RI y detector de carrier
- Se puede programar el número de bits, inicio y paridad
- Genera y detecta BREAK
- Prioridad en interrupciones
- Se puede programar la velocidad de transmisión
- Salidas tres-estados

El chip se compone de siete registros cuyas direcciones son 3F8, 3F9, 3FA, 3FB, 3FC, 3FD, 3FE, (0,1,2,3,4,5,6), cuyas funciones principales son.

Registro 0 (3F8), este registro tiene dos funciones dependiendo del valor del bit 7 del registro 3. En su primera opción es el que recibe y transmite los datos por el puerto correspondiente, si es para recibir se convierte en el Receiver Buffer Register (RBR), y si es para transmitir se convierte en Transmitter Holding Register (THR).

En la segunda opción el registro sirve como divisor para generar la velocidad de transmisión Divisor Latch Ls (DLL), parte menos significativa.

Registro 1 (3F9), este también tiene dos funciones en la primera se convierte en el Interrupt Enable Register (IER), el cual nos indica a quien se le permite interrumpir. En la segunda se convierte en divisor para generar la velocidad de transmisión Divisor Latch Ms (DLM), parte más significativa.

Registro 2 (3FA), a este registro se le denomina Interrupt Identification Register (IIR), este registro se encarga de identificar quien interrumpe y si hay interrupciones.

Registro 3 (3FB), a este registro se le denomina Line Control Register (LCR), este se encarga de establecer la forma de trabajo para transmisión y recepción.

Registro 4 (3FC), este es el registro de Modem Control Register (MCR), se encarga principalmente de controlar las señales del modem.

Registro 5 (3FD), a este registro se le llama Line Status Register (LSR), se encarga de las condiciones del chip para datos recibidos o por transmitir.

Registro 6 (3FE), a este registro se le llama Modem Status Register (MSR), se encarga de las condiciones de las

señales de modem.

Registro Line Control Register (LCR). El sistema puede ser programado para un formato específico para la comunicación de datos asíncronos el cual puede ser cambiado por el registro LCR.

Bit 0 y 1: Estos dos bits especifican el número de bits que se reciben o transmiten en cada transmisión por el puerto serie, la codificación es la siguiente:

Bit 0	Bit 1	Tamaño de palabra
0	0	5 bits
1	0	6 bits
0	1	7 bits
1	1	8 bits

Bit 2: Este bit especifica el número de bits de paro en cada transmisión o recepción de los caracteres en serie, si el bit 2 es 0 lógico se genera 1 bit de paro, si el bit 2 es un 1 lógico y se tienen 5 bits como tamaño de la palabra se genera 1 1/2 de paro, si el bit 2 es 1 lógico y se tiene 6, 7 u 8 bits de palabra se generan 2 bits de paro.

Bit 3: Este bit genera la paridad del byte a transmitir, si se tiene un 1 lógico la paridad es generada a la transmisión o checada a la recepción de datos.

Bit 4: Este bit se encarga de generar el tipo de paridad si se tiene un 0 lógico se tendrá paridad impar, y si se tiene un 1 lógico se tendrá paridad par.

Bit 5:

Bit 6: El bit de control del break, cuando el bit 6 es un 1 lógico la salida serial (SOUT) es forzada a transmitir un espacio.

Bit 7: Este bit es el encargado de que el registro 0 y 1 tengan las dos funciones descritas anteriormente, si se tiene un 1 lógico los registros se comportaran como divisores para la frecuencia de transmisión, si se tiene un 0 lógico el

registro 0 se comporta como transmisor o receptor del puerto serie mientras que el registro 1 se comporta como el Interrupt Enable Register (IER).

Registro Line Status Register (LSR). Los 8 bits de este registro informan del status de la información cuando los datos son transferidos.

Bit 0: este bit es el Data Ready (DR), si se tiene un 1 lógico indica que hay dato recibido y este será transferido al Receiver Buffer Register, se limpia leyendo el dato.

Bit 1: Este es el bit de Overrun Error (OE), indica que el dato que está en el Receiver Buffer Register no puede ser leído por el CPU, el indicador OE se pone en cero leyendo el registro LSR.

Bit 2: Es el bit del Parity Error (PE), si se tiene un 1 lógico significa que se tiene un error en la paridad seleccionada ya sea par o non, este bit se limpia leyendo este registro.

Bit 3: Este es el bit de Framing Error (FE), este bit indica que el caracter recibido no puede ser atendido porque no es valido el bit de paro.

Bit 4: Este es el bit de Break Interrupt (BI), este bit se encarga de realizar la revisión completa del ciclo de la transmisión (bit de inicio + bits de datos + paridad + bits de paro).

Bit 5: Este bit es el encargado de manejar el Transmitter Holding Register Empty (THR), este bit le indica al 8250 que reciba un nuevo dato, si se tiene un 1 lógico se pueden enviar datos, este bit se resete a un 0 lógico cuando se carga el THR al CPU.

Bit 6: Este es el bit encargado del Transmitter Shift Register Empty (TSR), si se tiene un 1 lógico se está indicando que se pueden recibir datos y se activa el Receiver Buffer Register, este bit es de solo lectura.

Bit 7: Este bit siempre permanece en 0 lógico.

Registro Interrupt Identification Register (IIR), el chip 8250 tiene cuatro niveles de prioridades las cuales son Receiver Line Status (prioridad 1), Receiver Data Ready (prioridad 2), Transmitter Holding Register (prioridad 3) y el Modem Status (prioridad 4).

Bit 0: Este bit se utiliza para saber si se tiene alguna interrupción pendiente, si se tiene un 0 lógico entonces se tiene una interrupción pendiente en el IIR, si se tiene un 1 lógico entonces no se tiene ninguna interrupción pendiente y se puede continuar trabajando.

Bits 1 y 2: Estos dos bits son usados por el IIR para identificar el nivel de prioridad de la interrupción pendiente, la cual es la siguiente:

Bit 2	Bit 1	Bit 0	prioridad	Fuente	Borrar
0	0	1	-	-	-
1	1	0	1	Error ISR	Leer LSR
1	0	0	2	Dato recibido	Leer dato
0	1	0	3	Transmisor vacío	Leer IIR o poner dato
0	0	0	4	Modem	Leer MSR

Bits 3 al 7: Los siguientes 5 bits del registro IIR se mantienen con un 0 lógico.

Registro Interrupt Enable Register (IER), este es el registro 1 en una de sus dos funciones la cual es la habilitación de los cuatro tipos de interrupciones.

Bit 0: Habilita la interrupción Received Data Available si se tiene un 1 lógico (dato recibido).

Bit 1: Habilita la interrupción de Transmitter Holding Register Empty si se tienen un 1 lógico (transmisor vacío).

Bit 2: Este bit habilita la interrupción Receiver Line Status si se tiene un 1 lógico (Error del IIR).

Bit 3: Este bit habilita las interrupciones del Modem

Status Interrupt si se tiene un 1 lógico (señal de modem).

Bits 4 al 7: los cuatro bits siguientes se mantienen en un 0 lógico.

Los registros 0 y 1 tienen 2 funciones principales una de ellas es la de formar un divisor de frecuencia para la transmisión de datos, utilizando el registro 0 como la parte baja de este divisor y el registro 1 como la parte alta, las posibles combinaciones son las siguientes.

Velocidad de transmisión	Divisor
50	2304
75	1536
110	1047
134.5	857
150	768
300	384
600	192
1200	96
1800	64
2000	58
2400	48
3600	32
4800	24
7200	16
9600	12
19200	6
38400	3
56000	2

Por otro lado el registro 0 sirve como receptor y emisor de datos, esta doble función la determina el registro Line Control Register (LCR) en su bit número 7.

Los registros Modem Control Register (MCR) y el Modem Status Register (MSR) no son importantes para este caso ya

que no se utilizarán modem's para el presente diseño por lo cual no se analizaran sus funciones.

PROGRAMA DE COMUNICACIONES Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

Este programa se divide en dos rutinas una de ellas maneja las comunicaciones y almacenamiento de datos, la otra maneja las interrupciones al CPU, en la primera se tienen la programación de los circuitos 8259 y 8250 así como la forma de transmisión, en esta misma rutina se tiene el control de los archivos que se van a utilizar ya que cada dispositivo envia datos a la computadora los cuales debén ser almacenados por separado para su posterior procesamiento, a saber se tienen que crear tres archivos.

El programa anterior se propone realizarlo en ensamblador o en lenguaje C la estructura básica de la rutina podría quedar como sigue.

Programación del chip 8250

- Velocidad
- Modo
- Habilitar interrupciones

Programación del chip 8259

- Para que acepte la interrupción del puerto serie

Almacenamiento de datos

- Decodificador de datos
- Almacenamiento de datos

Este programa debiera ser lo suficientemente inteligente para poder detectar que dispositivo le esta solicitando atención, para lo anterior el controlador mandara un byte de información en donde le indicara el dispositivo que sera

atendido si se manda un 01h se atendera a la ayuda de manejo, si se recibe un 02h se atendera al CVS, si se tiene un 04h y un 08h se atenderan a los analizadores., enrespuesta la computadora mandara un byte de enterado en donde se transmitira la misma decodificacion para la captacion de datos.

Los datos anteriores se almacenaran en archivos de la siguiente manera.

Para la ayuda de manejo se creara un archivo en donde se almacenaran las infracciones registradas durante la prueba, se creara otro archivo para el CVS en donde se guardaran los datos de presion, volumen y temperatura de las tres fases al final de la prueba estas cantidades se promediaran. Para los analizadores se creara otro archivo en el cual se almacenaran los datos de estos, se almacenan cuatro bytes por analizador, los primeros bytes muestran la identificacion de analizador asi como el rango en el cual se trabajo, los segundos bytes se da la informacion del analizador, un par de estos bytes son la de los gases diluidos y los otros dos se los concentrados.

Tambien se debe de contar con una rutina de atencion al puerto serie la cual siempre debera estar corriendo para detectar las llamadas del controlador.

Una parte del programa se muestra a continuacion.

PROGRAMA DE CONTROL DE TIEMPOS

La función principal del programa controlador de tiempos es controlar el momento de lectura de los datos de los analizadores después que se ha terminado cada una de las fases de la prueba. Para esto es necesario tomar el tiempo real en el cual la fase ha terminado y sumarle a está hora 4 minutos lo cual es el tiempo en el que los analizadores se han estabilizado.

Este programa debe estar residente en memoria y estar

PONVEC equ 25h
TICK equ 1ch

219

PROG SEGMENT BYTE PUBLIC 'PROG'
assume CS:PROG, DS:PROG

inicio:

```
push cs ; DS = CS
pop ds ; DS:DX direccion de rutina
mov dx,offset codtick
mov ah,PONVEC
mov al,TICK
int 21h ; pone nuevo vector para TICK
mov dx,400h ; deja residente 720 byte's
int 27h
```

```
;;
codtick: jmp cot
espacio db 10h dup (8)
cot:
```

```
pushf ; guarda el stack original
push ax
push bx
push cx
push dx
push di
push si
push ds
push es
cmp byte ptr cs:cont, 18 ; si se cumplen 18 ticks
jne nada
mov ah,0
int 1ah
call traduce
mov di,offset lethora ; DI apunta a letrero de hora
mov cs:[di+2], bh ; decenas
mov cs:[di+4], bl ; unidades
mov cx,0
mov si,offset espacio
call ojo
mov ax,dx ; para minutos y segundos
mov dx,0
mov cx,1092 ; 60 * 18.2 = ticks por minuto
div cx ; AX coc (min) DX res (seg)
mov cx,ax ; se toma de cociente
call traduce ; CX tiene minutos
mov cs:[di+8], bh ; decenas
mov cs:[di+10], bl
mov cx,2
mov si,offset espacio+2 ; unidades
call ojo
mov ax,dx
mov dx,0
mov cx,18 ; 18 ticks por segundo
div cx ; comparar contra 60
cmp al,60 ; volver a poner 59
jne et11
mov al,59
et11: mov cx,ax
```

```

call traduce
mov cs:[di+14], bh ; decenas
mov cs:[di+16], bl ; unidades
call HORA ; imprime la hora
cmp byte ptr cs:ALA,4 ; verifica que sea la hora
jne nada
call write ; imprime la alarma

nada: mov byte ptr cs:ALA,0 ; actualize el valor de las
inc byte ptr cs:cont ; variables
pop es ; se recupera el stack
pop ds ; original
pop si
pop di
pop dx
pop cx
pop bx
pop ax
popf
iret ; regresa a int 8

```

RUTINAS DE APOYO

Recibe el CX un numero hexadecimal entre 0 y 59 y lo regresa en forma decimal ascii en BH,BL.

```

traduce:
push ax
mov ax,cx
mov cl,10
div cl ; obtiene decenas y unidades
add al,30h
mov bh,al ; decenas
add ah,30h
mov bl,ah ; unidades
pop ax
ret

;
; pinta la hora
;
HORA: mov si,di
mov di,140
mov ax,0b800h
mov es,ax ; obtiene ES:DI
push cs ; 0b800:70
pop ds ; obtiene DS:SI
mov cx,10
cld
mov dx,3dah
et12: in al,dx
test al,1
jnz et12
et13: in al,dx
test al,1
jz et13
movsw ; imprime la hora
loop et12

```

```

mov     byte ptr cs:cont,0ffh
ret

;
; pinta el mensaje para los analizadores
;
write:  inc     word ptr cs:CONT1
        push   cs
        pop    ds
        mov    ax,0b800h
        mov    es,ax
        mov    di,8
        mov    ax,word ptr cs:CONT1
        cmp    ax,2
        jne   otro
        mov    si,offset LET
        mov    word ptr cs:CONT1,0
        jmp   aaa
otro:   mov    si,offset LET1
aaa:    mov    cx,34
        cld
        mov    dx,3deh
et1:    in     al,dx
        test  al,1
        jnz  et1
et2:    in     al,dx
        test  al,1
        jz   et2
        movsw
        loop ret

ojo:   ; revisa los parametros de la alarma
        push  cx
        mov   cl,cs:[si]
        cmp  bh,cl
        jne  s1
s1:    inc   byte ptr cs:ALA
        mov  cl,cs:[si+1]
        cmp  bl,cl
        jne  s2
s2:    inc   byte ptr cs:ALA
        pop  cx

HOR1   dw     17
MIN1   dw     0
CONT1  dw     1
ALA    db     0
LET    db     ' s-s-s-s-s s sRsLsEsRsTsRs s sYsRs s sEsSs s sHsOsRsRs s s-s-s-s-'
LET1   db     0
cont   db     0
lethora db ' p0p1p:p2p3p:p4p5p p'

PROG   ENDS
        END      inicio

```

registrado dentro del sistema para que después del tick de la máquina este sea ejecutado, al llegar a la hora convenida el programa realizará la indicación al controlador para que inicie la lectura de los datos de los analizadores vía programa de comunicaciones, a continuación se anexa el posible programa de control de tiempos.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Ya con los datos almacenados se procede a realizar el procesamiento de los mismos para el cálculo de las emisiones vehiculares, el programa deberá decodificar la información que se encuentra en el archivo de los analizadores para detectar el tipo de gases con el cual se está trabajando, así como para saber si es el diluido o el concentrado.

El origen de la formulación del proceso de cálculo se explica en otro capítulo de esta tesis por lo cual solo se muestra en esta sección el listado del programa y una corrida de este.

En este caso los datos son dados por computadora, pero en el programa del sistema el programa deberá tomarlos de los archivos creados para esto.

```

#include (b:\include\stdio.h)
#include (b:\include\dos.h)
#include (b:\include\math.h)

#define conc1(T,T1,DF) T-(T1*(1-1/DF));
#define masa(f1,f2,f3) (.43*(f1+f2))/12.06+(.57*(f2+f3))/12.06;

/* Programa que realiza el calculo de emisiones a partir
de los datos leidos en los analizadores cuya ecuacion
general es:
Masa=Vmix*concentracion*Peso especifico

float T [20][4];
float R,Pv,Kh,H,DF,COe,COD,conc,Tw,Td,Pb,PPw;
char en [6][4] = {'H',' ',' ','C','\0',
                 'C',' ','0','\0',
                 'N','D','x','\0',
                 'C','D','2','\0',
                 'D',' ','F','\0',
                 'F',' ',' ','E','\0'};

int x,y,k,z;

main ()
{
float Hcm,COm,NOxm,CO2m,f;
float Hct,COt,NOxt,CO2t;
char a;
do
{
printf ("\nTemperatura ambiente - Td - ");
scanf ("%g",&Td);
printf ("Temperatura de bulbo humedo - Tw - ");
scanf ("%g",&Tw);
printf ("Presion atmosferica -Pb - ");
scanf ("%g",&Pb);
printf ("Presion de bulbo seco - Pw - ");
scanf ("%g",&PPw);
printf ("Presion parcial de vapor - Pv - ");
scanf ("%g",&Pv);

printf ("Dar Los datos en el orden establecido \n");
for (y=1;y<=3;++y)
{
printf ("dar los datos de la fase %d \n \n",y);
for (x=1;x<=8;++x)
{
printf ("dato num %d ",x);
scanf ("%g",&T [x][y]);
}
}
for (y=1;y<=3;++y)
{
espe (&R,&Pv,&COe,&COD,&DF,&H,&Kh);
conc=conc1 (T [1][y],T [2][y],DF);
T [10][y]=(T [9][y]*conc+.477834e-4)*1.6093;
conc=conc1 (T [7][y],T [8][y],DF);
T [11][y]=(T [8][y]*conc+.928937e-4)*1.5093;
conc=conc1 (T [3][y],T [4][y],DF);
T [12][y]=(T [9][y]*conc+1.583880e-4*Kh)*1.6093;
}
}
}

```

```

conc=conc1 (T [5][y],T [6][y],DF);
T [13][y]=(T [9][y]+conc*1.582107)*1.6093;
T [14][y]=DF;
T [15][y]=640.1/(.866*T [10][y]+.429*T [11][y]+.315*T [13][y]);
}

/* Realiza calculos totales */
for (y=10;y!=13;++y)
  T [y][4]=masa (T [y][1],T [y][2],T [y][3]);
T [15][4]=(T [15][1]+T [15][2]+T [15][3])/3;

/* Se realiza la impresion de los resultados */
printf ("\n \nCont./Fase      1          2          3          tot
for (x=10;x!=15;++x)
  {
  printf (" %c%c%c%c      ",en [x-10][0],en [x-10][1],en [x-10][2],en [x-1
  for (y=1;y!=4;++y)
    printf (" %g-%g      ",T [x][y]);
  printf ("\n");
  }
printf ("\n\n\n Variables del proceso \n\n\n");
printf ("Presion barometrica %g Presion en seco %g Temp. humeda %g
printf ("Humedad relativa %g \n",R);
printf ("Factor de correccion de humedad %g \n \n",Kh);
printf ("Humedad absoluta %g \n",H);
printf ("Presion parcial de vapor %g \n",Pv);
scanf ("%d",&z);
}
while (z!=1);
}

/* RUTINA ESPECIAL */
espe (R,Pv,COe,COD,DF,H,Kh)
/* realiza los calculos intermedios del proceso

M = Humedad absoluta con aire caliente
Kh= Factor de correccion de humedad
R = Humedad relativa
A = Constante experimental usada en la ecuacion de Ferrel's
Pw = Saturacion del vapor de agua en seco
Pv = Presion parcial del vapor de agua */

float *R,*Pv,*COe,*COD,*DF,*H,*Kh;
{
float Pw1,Pw,A;
double a,b;
a=T [9][y];b=2;
R=3.67e-4*(1+0.00064)*T [9][y]-32;
Pw1=(-4.14438e-3)+(5.76645e-3*T [9][y])-(6.32788e-5*(pow (a,b)));
Pw=Pw1+(2.12294e-8*(pow (a,(b+1))))-(7.85415e-9*(pow (a,(b+2))))+(6.55263e-11*(pc
*Pv=Pw-R*Pb*(Td-Tw);
*R=(Pv/PPw)*100;
*COe=(1-0.01925*T [5][y]-0.000323*(R))*T [7][y];
*COD=(1-0.000323*(R))*T [8][y];
*DF=13.4/(T [5][y]+(T [11][y]+COe)*1e-4);
*H=(4347.8*(Pv))/(Pb-Pv);
*Kh=(1/(1-0.0047*(H-75)));

```

Referencias bibliograficas

Boylestad Robert

Electronica teoria de circuitos

Editorial Prentice-Hall 1984

Wait V. John

Introduccion al amplificador operacional

Editorial Gustavo Gill 1983

Holdsworth B.

Diseño sw logica digital

Editorial Gistavo Gill 1983

Morris Mano M.

Digital logic and computer design

Editorial Prentice-Hall 1979

Anonimo

Logic databook

National

Anonimo

Linear databook

National

Anonimo

ACER manual de operacion

Printaform

CONCLUSIONES:

En esta tesis se ha presentado la información básica para instalar un laboratorio de emisiones en la D.E.P.F.I. UNAM. Esta información básica comprende desde la situación actual de la contaminación atmosférica, hasta el diseño final del laboratorio de emisiones que será instalado en la UNAM, pasando por los diferentes dispositivos anticontaminantes que se han desarrollado en todo el mundo.

En este trabajo no se ofrecen soluciones al problema de la contaminación, sin embargo se sientan las bases para que en un futuro próximo, los investigadores cuenten con herramientas suficientes para el estudio y reducción de este problema.

Durante la elaboración de la tesis se presentaron reportes de avance que sirvieron para ser presentados tanto a la Dirección de la Facultad de Ingeniería así como a la Dirección de obras de la UNAM, para su aprobación. En base a nuestra propuesta, se obtuvo un presupuesto de \$470'000,000.00 de pesos para iniciar la construcción del edificio que albergará al laboratorio de emisiones.

Creemos haber dado un paso más para iniciar investigaciones en la facultad de Ingeniería de la UNAM de alto nivel tecnológico, encaminada a paliar el problema de la contaminación ambiental.

Este laboratorio se puede utilizar de varias formas:

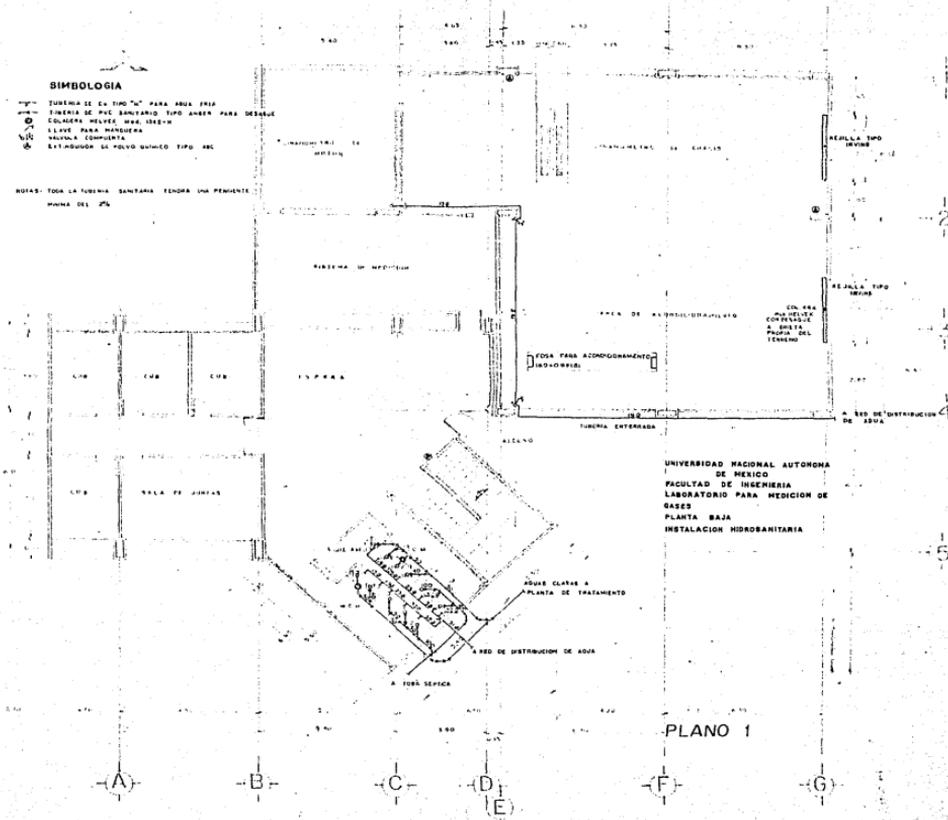
- + Evaluación de prototipos de dispositivos anticontaminantes
- + Evaluación de nuevas formulaciones de combustibles y/o efectos de aditivos en los combustibles.
- + Investigaciones conjuntas con otras instituciones.
- + Programas de vinculación Escuela-Industria.
- + Programas de servicio social.
- + Prácticas profesionales.

Finalmente, pensamos haber cumplido con los objetivos planteados al inicio de este documento.

SIMBOLOGIA

- TUBERIA DE CO. SANGRADO TIPO ANCHO PARA DESAGUE
- CULIEBRA HELICO. HAZ. 10/20"
- LLAVE PARA MANTENER
- MUELVA COMPLETA
- ⊗ EXTINTOR DE POLVO QUIMICO TIPO ABC

NOTAS: TODA LA TUBERIA SANITARIA TENDRA UN PUNTO
 MONEA DEL 2/4"

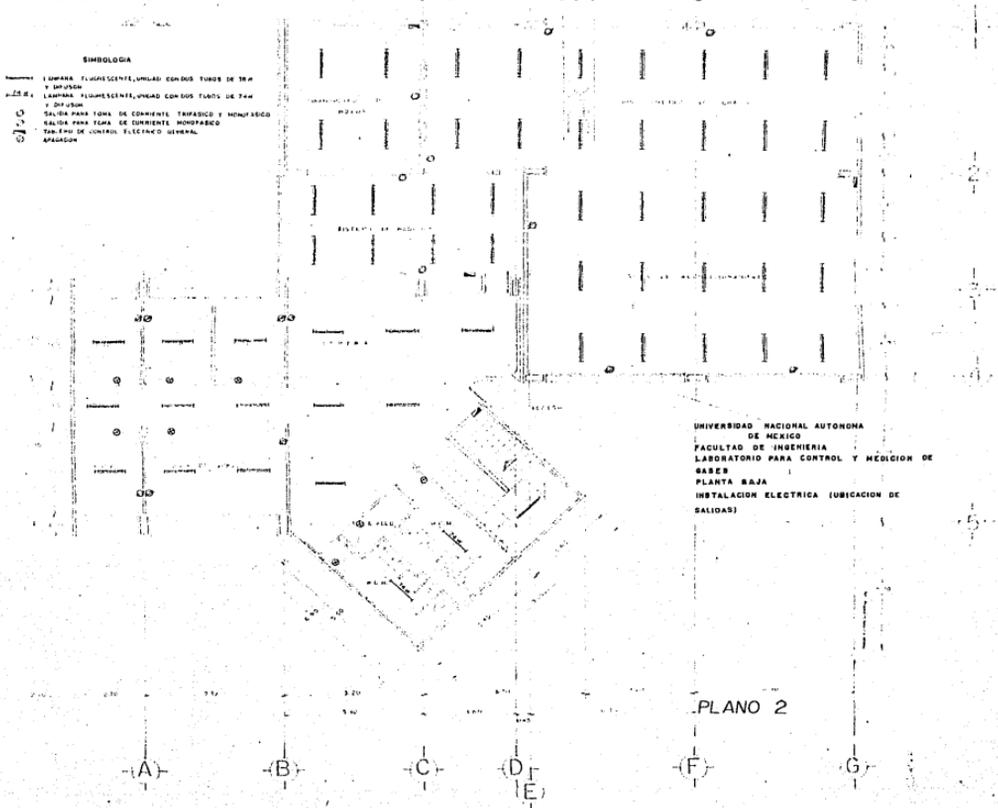


PLANO 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO PARA MEDICION DE GASES
 PLANTA BAJA
 INSTALACION HIDROSANITARIA

SIMBOLOGIA

- LAMPARA FLUORESCENTE, UNIDAD CON SUS TUBOS DE 20 W Y 40 W
- LAMPARA FLUORESCENTE, UNIDAD CON SUS TUBOS DE 70 W Y 80 W
- SALIDA PARA TOMA DE CORRIENTE TRIFASICO Y MONOFASICO
- SALIDA PARA TOMA DE CORRIENTE MONOFASICO
- TAB. E.M.U. DE CONTROL ELECTRONICO GENERAL
- MISION



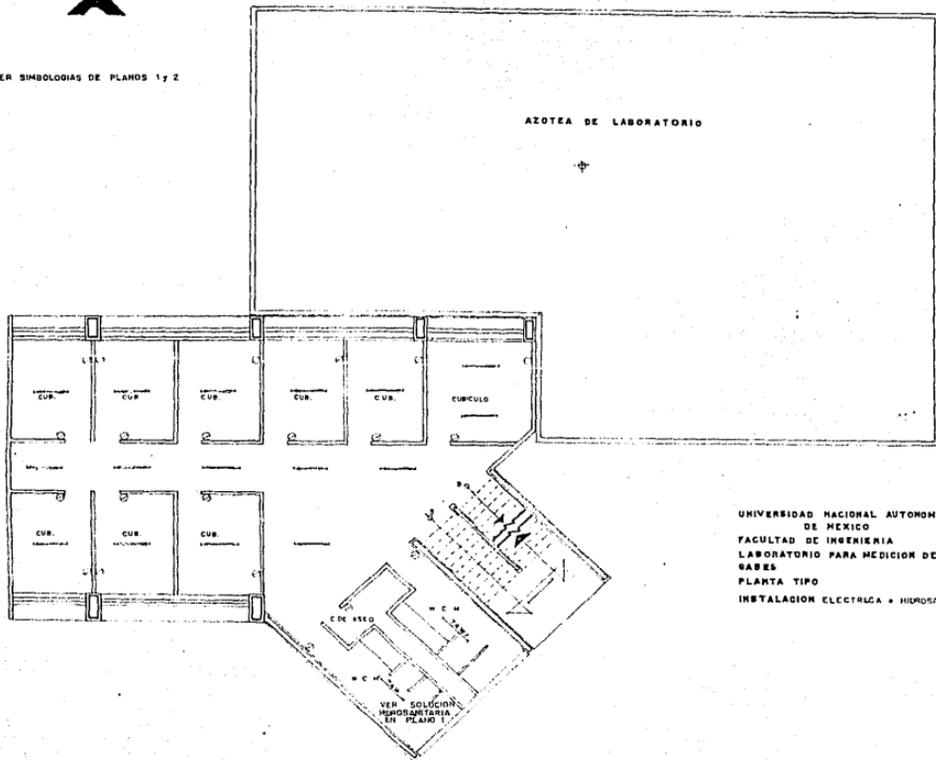
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO PARA CONTROL Y MEDICION DE
BASES
PLANTA BAJA
INSTALACION ELECTRICA (UBICACION DE
SALIDAS)

PLANO 2

(A) (B) (C) (D) (E) (F) (G)



VER SIMBLOGIAS DE PLANOS 1 y 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO PARA MEDICION DE GASES
PLANTA TIPO
INSTALACION ELECTRICA + HIDROSANITARIA

PLANO 3

